

**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YOL AĞI KAVŞAKLARINDA TRAFİK AKIŞININ SİMÜLASYONU VE  
KONFIGÜRASYONDAKİ DEĞİŞİM ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**



**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
UZAKTAN ALGILAMA VE CBS PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
DOÇ. DR. FATİH GÜLGEN**

**İSTANBUL, 2019**

T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YOL AĞI KAVŞAKLARINDA TRAFİK AKIŞININ SİMÜLASYONU VE  
KONFIGÜRASYONDAKİ DEĞİŞİM ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Can BOZ tarafından hazırlanan tez çalışması 14.10.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Doç. Dr. Fatih GÜLGEN  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Doç. Dr. Fatih GÜLGEN  
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Necla ULUĞTEKİN  
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğretim Üyesi Alper ŞEN  
Yıldız Teknik Üniversitesi

## ÖNSÖZ

---

Bu tez çalışması ülkemizde gittikçe artan kavşak düzenlemeleri üzerine bir yaklaşım geliştirmek ve son kullanıcılar tarafından kolayca kullanılabilir olacak olan SUMO trafik simülasyonunun tanıtılması amacıyla yapılmıştır.

Öncelikle bu çalışma için beni ilk yönlendiren Sayın Yu Feng'e, tez danışmanın Doç. Dr. Fatih Gülgen'e yaptıkları akademik destekten dolayı teşekkür ederim. Tez çalışmam süresince bana her türlü desteği sunan gül yüzlü anneme, büyük yürekli babama, mücadele timsali abim ve onun minik ailesine sonsuz teşekkür ederim. Son olarak dünyamı daha yaşanılabilir hale getiren müstakbel hayat arkadaşşıma şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmayı mutlu yarınlarda okumanız dileğiyle.

Eylül, 2019

Can BOZ

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTIMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	ix
ÖZET .....	x
ABSTRACT.....	xii
<b>BÖLÜM 1</b>	
<b>GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Literatür Özeti .....	1
1.2 Tezin Amacı .....	5
1.3 Hipotez .....	6
<b>BÖLÜM 2</b>	
<b>TRAFİK SİMÜLASYONLARI .....</b>	<b>7</b>
2.1 Sistem ve Model.....	7
2.2 Model Oluşturma Süreci.....	8
2.3 Trafik Akışının Modellenmesi.....	9
2.3.1 Makroskobik Modelleme.....	10
2.3.2 Mikroskobik Modelleme.....	10
2.3.3 Mesoskopik Modelleme .....	11
2.4 Trafik Simülasyon Modellerinin Kalibrasyonu .....	11
2.4.1 Modelleme Kabulleri.....	12
2.4.2 Modelleme Veri Kaynakları.....	13
2.5 Trafik Simülasyonu Kavramı .....	13
2.5.1 Trafik Simülasyonu Yaklaşımları .....	13
2.5.2 Parametre Düzenlemesi.....	14
<b>BÖLÜM 3</b>	

ŞEHİRLERDE HAREKETLİLİĞİN SİMÜLASYONU .....	16
3.1    SUMO'nun Temelleri .....	16
3.1.1    SUMO'da Araç Hareketleri .....	17
3.2    SUMO ile Model Oluşturma .....	20
3.2.1    Yol Ağı Dosyası .....	21
3.2.2    SUMO'da Talep Modellemesi .....	23
3.2.2.1    RandomTrips Modülü .....	24
3.2.2.2    Dfrouter Modülü .....	24
3.2.2.3    Özel Rota Tanımlama .....	27
3.2.3    Konfigürasyon Dosyası .....	28
BÖLÜM 4	
TRAFİK SİMÜLASYONUNA İLİŞKİN BİR UYGULAMA .....	29
4.1    Çalışma Bölgesi .....	30
4.2    Verilerin Toplanması .....	32
4.3    Yol Ağı Verisinin Oluşturulması .....	33
4.4    Rota Verilerinin Oluşturulması .....	35
4.5    Konfigürasyon Dosyalarının Oluşturulması .....	37
4.6    Simülasyonun Çalıştırılması .....	37
4.7    Simülasyonun Çıktılarının Düzenlenmesi .....	37
4.8    Bulgular .....	38
BÖLÜM 5	
SONUÇ VE ÖNERİLER .....	43
KAYNAKLAR .....	46
ÖZGEÇMİŞ .....	49

## SİMGE LİSTESİ

---

$\alpha$	Önem Düzeyi
$b$	Maksimum Yavaşlama Yeteneği
$d$	Tolerans Değeri
$g$	Öndeki Araç İle Olan Mesafe
$k_{(x,t)}$	X Konumu t Zamanındaki Trafik Yoğunluğu
$P$	Kullanıcı Hassasiyeti
$q_{(x,t)}$	X Konumu t Zamanındaki Trafik Akışı
$S$	Tepki Süresi
$t$	Zamanı
$U$	Uyarıcı
$V$	Hız
$V_{leader}$	Takip Edilen Aracın Hızı
$V_{max}(l)$	Aracın $l$ Şeridindeki Ulaşabileceği Hız
$V_{poss}(l)$	Aracın $l$ Şeridindeki Güvenli Sürüş Hızı
$V_{safe}$	Güvenli Hız
$X$	Konumu

## KISALTMA LİSTESİ

---

CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
DLR	Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt
GNU	GNU's Not Unix
KTY	Karayolları Trafik Yönetmeliği
OD	Origin Destination
OSM	Open Street Map
POI	Point Of Interest
SUMO	Simulation of Urban Mobility
TDK	Türk Dil Kurumu

## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
<b>Şekil 1.1</b> Kentsel ve kırsal Dünya nüfusu .....	2
<b>Şekil 1.2</b> Trafik mühendisliği ana elamanları ve ilişkileri .....	4
<b>Şekil 2.1</b> Model oluşturma sürecinin metodolojik adımları .....	9
<b>Şekil 2.2</b> Simülasyon modelinin kalibrasyon adımları .....	12
<b>Şekil 2.3</b> Trafik simülasyonu tipleri .....	13
<b>Şekil 3.1</b> NetEdit programında devam edilecek şeritlerin belirlenmesi .....	22
<b>Şekil 3.2</b> NetEdit programında trafik ışıkları sürelerinin belirlenmesi.....	22
<b>Şekil 3.3</b> Dedektör dosyası formatı.....	25
<b>Şekil 3.4</b> Araç geçiş sayıları dosyası formatı .....	26
<b>Şekil 3.5</b> DfRouter modülü akış şeması.....	27
<b>Şekil 3.6</b> Konfigürasyon dosyası formatı.....	28
<b>Şekil 4.1</b> RandomTrips modülü ile yapılan işlemlerin adımları.....	29
<b>Şekil 4.2</b> DfRouter modülü ile yapılan işlemlerin adımları.....	30
<b>Şekil 4.3</b> Özel rota tanımlanarak yapılan işlemlerin adımları .....	30
<b>Şekil 4.4</b> 2012 uydu görüntüsünde düzenleme yapılan bölgeler-düzenleme öncesi...	31
<b>Şekil 4.5</b> 2017 Uydu görüntüsünde düzenleme yapılan bölgeler-düzenleme sonrası .	31
<b>Şekil 4.6</b> 2017 Uydu görüntüsünde dedektör noktalarının konumları .....	32
<b>Şekil 4.7</b> 2012 Yol ağı temel gösterimi.....	34
<b>Şekil 4.8</b> 2016 Yol ağı temel gösterimi.....	34
<b>Şekil 4.9</b> 2016 yol ağında 9 numaralı Kampüs - Merter Rotası.....	36
<b>Şekil 4.10</b> 2012 yol ağında 10 numaralı Kampüs - Topkapı Rotası .....	36
<b>Şekil 4.11</b> Fcd dosyası örneği .....	37
<b>Şekil 4.12</b> El ile oluşturulan rotalarda oluşan 2012 orta kavşak yoğunluğu 1601. Saniye .....	39
<b>Şekil 4.13</b> El ile oluşturulan rotalarda oluşan 2016 orta kavşak yoğunluğu 1615. Saniye .....	39
<b>Şekil 4.14</b> Farklı gösterim türünde araçların sinyalleri ve geçiş üstünlüğü kuralının uygulaması .....	41
<b>Şekil 4.15</b> Farklı gösterim türünde araçların sinyalleri, trafik ışığı sonrası hareketleri.	41
<b>Şekil 4.16</b> Farklı gösterim türünde araçların gideceği rotadaki en uygun şeritlerin gösterimi .....	42

## ÇİZELGE LİSTESİ

---

	Sayfa
<b>Çizelge 4.1</b> Dedektör id ve araç geçiş değerleri .....	33
<b>Çizelge 4.2</b> Raslantısal üretilen rotaların yoğunluğa göre toplam araç sayıları ve Simülasyon süreleri.....	38
<b>Çizelge 4.3</b> Dedektör verileriyle üretilen rotaların saatlere göre toplam araç sayıları ve simülasyon süreleri.....	38
<b>Çizelge 4.4</b> El ile oluşturulan rotaların saatlere göre araç sayıları ve simülasyon süreleri .....	38
<b>Çizelge 4.5</b> El ile oluşturulan rotaların saat aralığı ve yıllara göre ulaşım süreleri .....	40

## YOL AĞI KAVŞAKLARINDA TRAFİK AKIŞININ SİMÜLASYONU VE KONFIGÜRASYONDAKİ DEĞİŞİM ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Can BOZ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Fatih GÜLGEN

Günümüzde kentlerin nüfusu hızla artmaktadır. Artan kentsel nüfus içerisinde insanlar günlük hayatlarının önemli bir kısmını ulaşım faaliyetinin içinde geçirmektedir. Şehir yöneticileri tarafından trafikte geçirilen sürenin kısaltılması amacıyla yüksek maliyetli yol ağı ve kavşak düzenlemeleri yapılmaktadır. Uygulanan düzenlemelerin planlanmasında farklı yaklaşımlar ve programlar kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında kavşak bazında trafik akış modellenmesi yapılmış ve düzenlenen kavşak konfigürasyonlarının trafik simülasyonu kullanılarak etkileri araştırılmıştır. Çalışmada şehirleşme hakkında genel bilgilerden bahsedilmiş, ulaşım mantığı ve tarihi hakkında bilgi verilmiştir. Simülasyon kısmında ise model simülasyon kavramı, trafik akışının oluşturma yaklaşımları, trafik simülasyonlarının çalışma prensipleri ve Simulation of Urban Mobility (SUMO) hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Test çalışmasında, İstanbul ili Esenler ilçesi Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsü'nün Güneyinde bulunan kavşak bölgesinde 2012 öncesi ve sonrası yapılan düzenlemelerin sonuçları irdelenmiştir.

Çalışma alanında 3 farklı yöntemle trafik akışı oluşturulmuştur. Raslantısal DuaRouter modülü, dedektör dosyalarını kullanan DfRouter modülü ve gözlemlere dayalı kullanıcı tarafından oluşturulan akışlar karşılaştırılmış, kişisel gözlemler ile kullanıcı tarafından oluşturulan akışların trafiği daha iyi modelleyebildiği gözlemlenmiştir. Simülasyon ortamında düzenlenen kavşağın eski halinden akıcı olduğunun görüldüğü, ancak gerçek hayatta karşılaşılan trafik kurallarına uyulmaması, bağlantılı kavşaklarda oluşan trafik yoğunlukları gibi nedenlerden dolayı yapılan düzenlemenin tam başarıya ulaşmadığı

sonucuna varılmıştır. Bu nedenle yapılan kavşak düzenlemelerinin belirli bir alan içerisinde değil bütünsel bir yaklaşım içerisinde yapılması gerekliliği sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak SUMO ile yapılan kavşaklardaki yol ağı modellerinin, trafik akışı üzerindeki etkilerinin hem görsel hem de rakamsal olarak gözlemlenebildiği anlaşılmıştır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda açık kaynaklı ve kullanıcı dostu SUMO programı kullanılabilir. Akademi, özel sektör ve kamu kuruluşlarında açık kaynaklı SUMO programı kullanılarak trafik akışı kolaylıkla modellenebilir.

**Anahtar Kelimeler:** SUMO, simülasyon, kavşak düzenlemesi.



**SIMULATION OF TRAFFIC FLOW AT INTERSECTIONS AND INVESTIGATION  
OF THE EFFECTS OF CONFIGURATION CHANGES**

Can BOZ

Department of Geomatic Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Fatih GÜLGEN

Nowadays, the population of cities is increasing rapidly. Within the growing urban population, people spend a significant portion of their daily life in transportation. In attempt to shorten the time spent in traffic by city managers, high-cost road network and intersection arrangements are made. Different approaches and programs are used in the planning of the regulations. In this thesis, traffic flow modeling is performed on the intersection basis and the effects of the arranged intersection configurations are investigated using traffic simulation. In this study, general information about urbanization is mentioned and information about transportation logic and history is given. In the simulation section, detailed information about the concept of model simulation, approaches of creating traffic flow, working principles of traffic simulations and Simulation of Urban Mobility (SUMO) is given. In the test study, the results of the pre- and post-2012 arrangements in the junction area located in the south of the Davutpaşa Campus of the Yıldız Technical University in the Esenler district of Istanbul were examined.

Traffic flow was created in the study area by three different methods. The random DuaRouter module, the DfRouter module using detector files and the user-generated flows based on the observations were compared. It was observed that with personal observations the user-generated flows could better model the traffic. Although it is seen that the intersection organized in the simulation environment is more fluent than the former, it was concluded that the regulation can not achieve full success due to reasons such as non-compliance with traffic rules and traffic intensities at the connected

intersections. For this reason, it is concluded that the junction arrangements should be made in a holistic approach and not in a specific area.

As a result, it is understood that the effects of road network models at intersections with SUMO on traffic flow can be observed both visually and numerically. At the studies in future, open source and user-friendly SUMO program can be used. Traffic flow can be easily modeled in the academic, private sector and public institutions by using the open source SUMO program.

**Keywords:** SUMO, simulation, intersection arrangement.

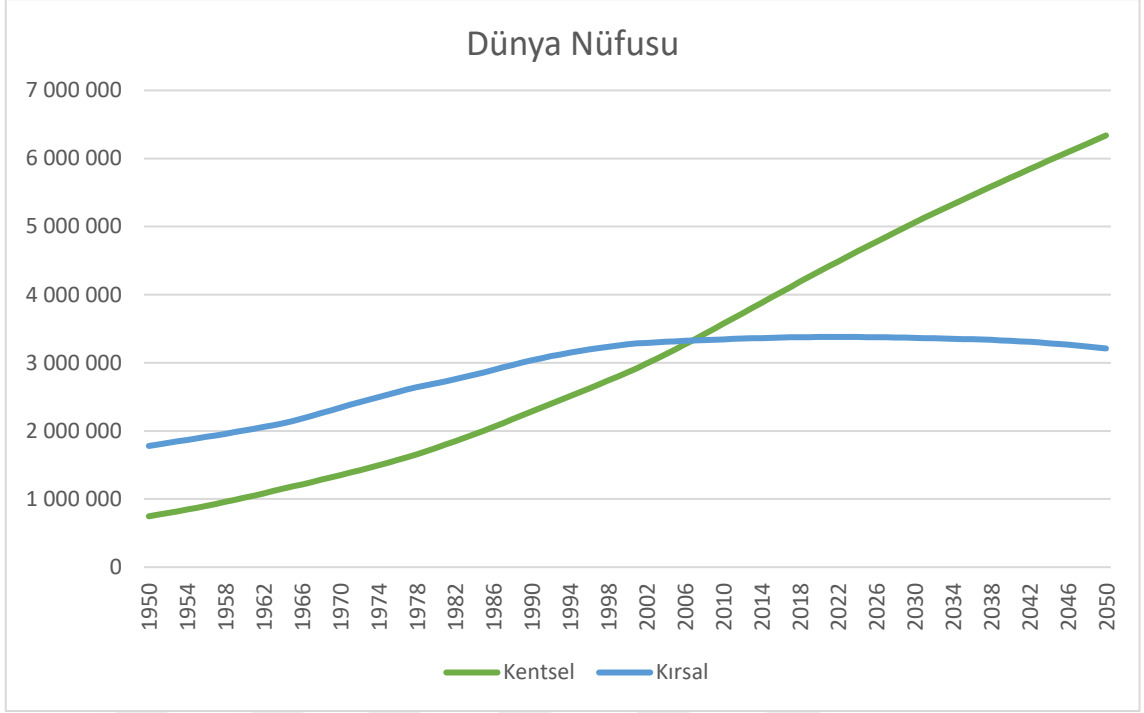


### GİRİŞ

Ulaşım denilince akla gelen en yaygın ulaşım tipi karayoludur. Karayolu ulaşımı sadece bir seyahat biçimi değil özellikle büyük şehirlerde insan hayatının temelini oluşturan etkenlerden biridir. Artan insan ve araç sayısına bağlı hızlı şehirleşme, birçok ülkede yeni çözümler üretilmesi gereken temel önceliklerin başındadır. Tokyo, Londra, Pekin, Paris ve İstanbul gibi büyük ve eski metropollerin yönetimleri ulaşım sorununu yeni yol düzenlemeleriyle çözmektedir. Kavşak düzenlemeleri, yeni yolların açılması ve ana güzergahların araç trafiğine kapatılması gibi uygulamalar temel düzenlemeler arasında sayılabilir. Bu tip uygulamaların yüksek maliyetli olmasından dolayı getireceği faydanın önceden belirlenmesi şehir yöneticileri açısından oldukça önemlidir.

#### 1.1 Literatür Özeti

Dünya nüfusu hızla artmaktadır. Sanayi devrimi sonrasında bu artış en fazla şehir merkezlerini etkilemektedir. 2006-2007 yılları arasında dünyada kentlerde yaşayan nüfusu kırsal alanda yaşayan nüfusu geçmiştir [1]. 2000'li yılların başında kent nüfusu dünya nüfusunun yaklaşık %46'sını oluşturmakta iken 2050 yılında bu değer %66 civarında olacağı beklenmektedir (Şekil 1.1)



**Şekil 1.1** Kentsel ve kırsal Dünya Nüfusu[1]

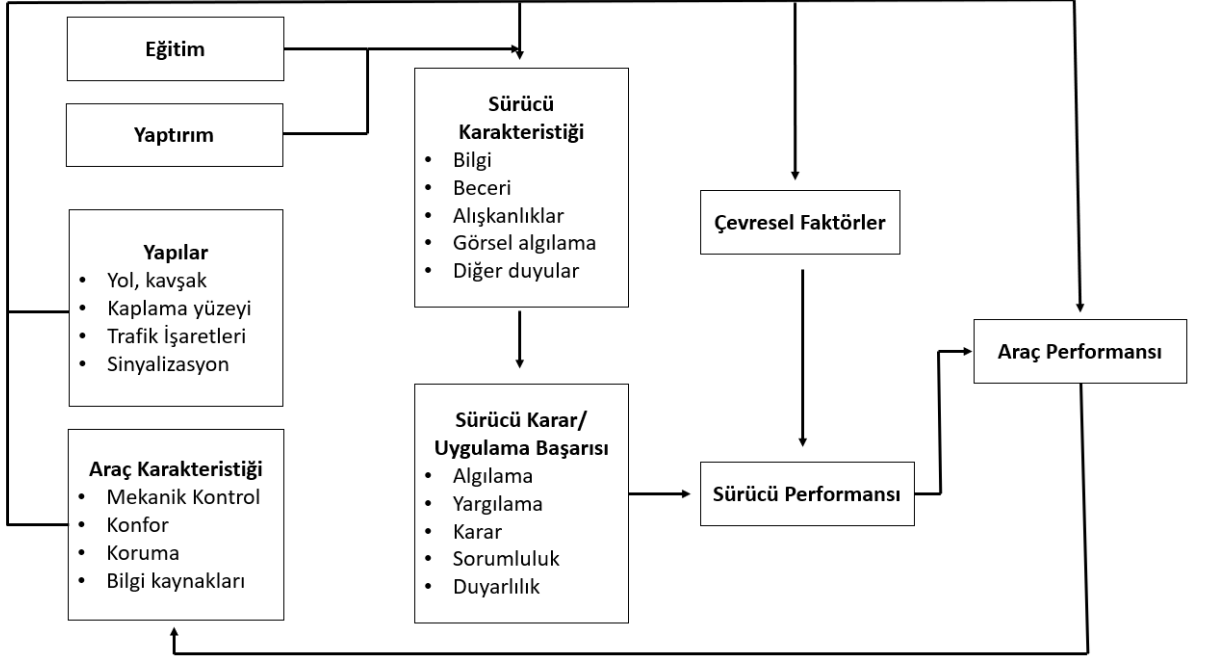
İnsanoğlu tarihsel süreç boyunca sürekli hareket halindedir. Avcı toplayıcı topluluktan yerleşik tarımsal hayata geçişte insanlar yakın mesafelerde de olsa ulaşım hareketliliğinden kopmamıştır. İlk başlarda sadece insanın kas gücüne dayanan ulaşım, hayvanların evcilleştirilmesi ile hayvanın kas gücüne dayanmıştır. Daha sonra tekerliğin icadı ile ulaşım daha da kolaylaşmış fazla miktardaki malzemelerin taşınması olanaklı hale gelmiştir. Yüzyıllarca bu şekilde işleyen ulaşım denizciliğinin gelişmesi ile birlikte hızla ilerlemiştir. 1769 yılında üretilmeye başlanan buhar makinasını tarihler 21 Şubat 1804'ü gösterdiğinde dünya tarihinde bir dönüm noktası olacak ve canlılardan alınan hareket enerjisinin yerini makinalara bırakan buharlı lokomotif kullanıma başlanacaktır. 1860 yılına gelindiğinde ise ilk içten yanma ve su soğutmalı motor geliştirilmiş ve dünya tarihi ulaştırma konusunda çok farklı bir kavşaktan yoluna devam etmeye başlamıştır [2].

Tarihsel süreçte diğer birçok alanda olduğu gibi askeri kullanım ulaştırma alanını da çok fazla etkilemiştir. Tarihin önceki çağlarında ulaştırma bir ordunun sefere çıkarken planlanan ilk operasyon kısmı olmuştur. Daha sonra buhar gücüyle çalışan lokomotiflerin üretilmesi ve ardından içten yanmalı motorların geliştirilmesi ulaştırma sistemleri açısından devrim niteliğinde olmuştur. Modern zamanlara geldiğimizde ise 1914-1918 yılları arasında yapılan 1. Dünya Savaşı sırasında tarihte eşi benzeri görülmemiş

büyüklerdeki orduların hızlı hareketlerinin sağlanması hem raylı hem de lastik tekerlekli araçların kullanımı ile olmuştur. Savaşın sona ermesinin ardından lastik tekerlekli olan araçların kullanımı artmış yaşanan teknolojik gelişmeler ile hem daha dayanıklı hem de daha verimli araçların üretilmesi ile şehirler arasındaki geniş araç yollarının yapılmasına başlanmıştır. 2. Dünya Savaşı önceki savaflara nazaran araçların en yoğun kullanıldığı ve askeri doktrinlerin bu araçlara göre güncellendiği bir savaş olarak tarihteki yerini almıştır [3]. İlerleyen yıllarda çeşitli yakıt cinslerinin kullanıldığı farklı soğutma sistemlerine sahip içten yanmalı motorlar üretilmiştir. Günümüzde ise içten yanmalı motorların çok uzun sürmeden yer yüzündeki hakimiyetini kaybedeceği görüşü genel kabul görmektedir.

Tüm tarihsel olaylar ve nüfusun kentleşmesi ile birlikte şehir içi yol ağları karmaşıklaşmış, şehir trafiğinin çözümü için çeşitli önlemler alınmaya başlanmıştır. Ülkemizde trafiği önleyici önlemlerin en başında yolların genişletmesi çalışmaları yapılmıştır. Özellikle İstanbul'da 1956 ile 1958 yılları arasında 7200'den fazla yapının yol genişletme ve meydan açma çalışmaları ile yıkıldığı bilinmektedir. Günümüzde İstanbul'un ana arterlerini oluşturan Barbaros Bulvarı, Vatan Caddesi, Millet Caddesi, Büyükdere Caddesi, Halaskargazi Caddesi, Kennedy Sahil yolu, Bağdat Caddesi, Unkapanı Caddesi gibi yollar o yıllardaki yapılan çalışmalar sonucunda oluşturulmuştur [4]. Ancak yapılan bu düzenlemeler şehir içindeki araç trafiğini arttırmakla birlikte uzun vadede trafik sorununa çözüm olamamıştır. Dünya'da ise trafik sorununu çözen birçok şehirde toplu taşıma ve alternatif ulaşım yöntemleri desteklenmiş, lastik tekerlekli araçların şehirdeki kullanım alanları daraltılmıştır [5].

Ulaştırma kelimesinin Türk Dil Kurumu Sözlüğündeki anlamı "İnsanların, malların, haberlerin ulaşmasını sağlayan işlerin ve araçların tümü, münakalat" olarak belirtilmiştir [6]. Ulaştırmanın sistemlerin araç, tesisler ve insanlar olarak 3 temel unsuru bulunmaktadır (Şekil 1.2).



**Şekil 1.2** Trafik mühendisliği ana elamanları ve ilişkileri [7].

Tüm kara taşıtlarının kendilerine özgü araç karakteristikleri bulunmaktadır. Bunlar fren mesafesi hızlanma süresi gibi değerlerdir. Yapılar, trafikte her an etkileşim halinde bulunduğumuz yol kavşak ve ışıkların tamamına verilen isimdir. İnsan faktörü ulaştırmada temel olarak iki farklı işlev üstlenmektedir. Bu işlevler yaya olma durumu ve aracı kullanan kişi yani sürücü olma durumudur. Trafik sistemi içerisinde insanın sürücü olma durumundaki eğitim bilgi düzeyi, karar ve davranışları trafiği etkileyen en önemli unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Belirtilen 3 temel bileşenin etkileşimleri Şekil 2.2 de belirtilmiştir.

Günümüzde ülkemizin en temel kara ulaştırma aracı lastik tekerlekli araçlardır. Karayolları Trafik Yönetmeliği'nin 128. Maddesinde ülkemizdeki araçların sınıfları, boyutları ve hangi alanlarda hangi kurallara tabi olarak kullanılacağı belirlenmiştir. Araç olarak sadece motorlu araçlar kullanılmamaktadır. Hayvanların çektiği arabalar ya da insanların kullandığı bisikletler de Karayolları Trafik Yönetmeliğinin 3. Maddesinde açıkça belirtildiği üzere birer ulaşım aracıdır. KTY 136. maddede bisiklet aracıyla ilgili kurallar düzenlenmiştir. [8] Trafik teriminin de TDK sözlüğündeki karşılığı "Ulaşım yollarının yayalar ve her türlü taşıt tarafından kullanılması" olarak belirtilmiştir. Yukarıdaki tüm bilgileri bir araya getirdiğimizde Trafik ulaştırma sistemleri içerisinde oluşan hareketlilik durumu olarak tanımlanmaktadır [9].

Yol, trafik sistemlerinin en maliyetli kısmıdır. Yol ağlarının belirlenmesi ve güzergâh tanımlamaları otomatik olarak yapılması için coğrafi bilgi sistemleri kullanılabilir. Ayrıca bu ağların basılı ya da sayısal ortamda kartografik düzenlemelere ihtiyaç duymaktadır. Yol ağlarının kesiştiği noktalara kavşak denilmektedir. Kavşaklar sadece iki güzergâhtaki yolun kesişmesi ile değil farklı güzergâhlardaki çok sayıda yolun birleşmesi ile de oluşabilir. Bu karmaşık kavşak sistemlerinde araç yoğunluklarının nasıl modelleneceği ve yapılacak olan sanat yapılarının planlanması tahmin edilebilir olmalıdır. Bu sebepten dolayı model kavramından yola çıkarak çeşitli simülasyonlar ortaya konulmuş ve çok çeşitli kavşak düzenlemeleri yapılmıştır [10-15].

Almanya'nın Köln şehri genel trafik simülasyonları uygulaması açısından çok yönlü bir simülasyon oluşturulmuş, açık kaynaklı haritalardan simülasyon oluşturulması için yöntemler belirlemiş ve birçok çalışmaya kaynaklık etmiştir [10]. Bologna senaryosu ufak bölgeler için geliştirilen en gerçekçi trafik simülasyonlarından bir tanesi olmuştur [11]. Avusturya batı yolları çalışması ise 27000 km uzunluğa sahiptir. Bu çalışmada trafik simülasyonlarının ne kadar geniş alanlar için kullanılabileceği gösterilmiştir [12]. Lüksemburg'da iki temel şehir bazlı simülasyon oluşturulmuş araç ve yayaların birlikte olduğu simülasyon ve toplu taşıma araçlarını içeren simülasyon ayrımı yapılmıştır [13,14]. Monako'da Yardımcı Akıllı Ulaşım Sistemi geliştirilmiş, bu sayede akıllı şehirler için temel oluşturacak trafik yoğunluklarının anlık olarak simüle edilebilmesi fikri ortaya konulmuştur [15].

## **1.2 Tezin Amacı**

Günümüzde büyüyen şehirlerde yapılan trafik düzenlemeleri genelde yüksek maliyetlidir. Bu yüksek maliyet ulaştırma üzerine çalışma yapan çeşitli kurumların bütçelerinden karşılanmaktadır. Bu çalışmada yapılacak kavşak düzenlemelerin etkilerinin açık kaynak kodlu simülasyon programı ile belirlenmesi ve irdelenmesi amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda trafik simülasyonlarının temelleri açıklanacak ve açık kaynak kodlu simülasyon programı olan Simulation Of Urban Mobility (SUMO) ile örnek bir test bölgesinde elde edilen simülasyon sonuçları tartışılacaktır. Bununla birlikte SUMO'nun sunduğu modüller incelenecektir.

### 1.3 Hipotez

Aşağıda verilen iki hipotez bu tez çalışmasının temelini oluşturmaktadır:

- Trafik simülasyonları kullanılarak kavşak düzenlemelerinin olası etkileri önceden ortaya konulabilir.
- Açık kaynak kodlu yazılımlar gerçek dünyayı modelleyebilecek simülasyonların oluşturulmasına imkân sağlar.



### TRAFİK SİMÜLASYONLARI

Simülasyonların amacı gerçek hayatta karşılaştığımız doğal ya da beşerî olaylardan elde edilen modelleri kullanarak, normal hayatta karşılaşılabileceğimiz diğer senaryoları üretmektir. Bu senaryo değişiklikleri rüzgâr ile sürüklenen yaprakların şehirde toplanacağı alanlar üzerine olabildiği gibi nükleer enerji santrallerindeki çekirdek ısılarındaki değişikliklerin reaktöre etkileri hakkında da olabilir. Simülasyon, dinamik olarak gerçek bir sistem üzerinde, onu resmi olarak temsil eden bir bilgisayar modeli aracılığıyla örnekleme deneyi olarak görülebilen bir tekniktir. Simülasyon, sistem modelinin zaman içindeki evriminin, zaman içinde modellenen sistemin evrimine uygun bir şekilde taklit ettiğini varsayar. Böylece, ilgilenilen gözlemsel değişkenlerden örnekler toplanabilir. Bu örneklerden, istatistiksel analiz teknikleri kullanılarak sistem davranışına ilişkin sonuçlar çıkarılabilir. Modeli sistemin deneysel bir alternatifi olarak kullanabilmek için, karar alma sürecinin güvenilirliği, sistemin davranışına yeterince uyum sağlayan bir simülasyon modeli üretme yeteneğine bağlıdır. Dolayısıyla modelin gerçekten kabul edilebilmesi için sonuçlarının tekrarlı olarak irdelenmesi gerekir [17].

#### 2.1 Sistem ve Model

Sistem, ortak bir planda olan ya da ortak bir amaca hizmet eden, çoğu zaman çeşitli parçalardan oluşan karmaşık bir birliktir. Diğer bir ifadeyle düzenli etkileşim ve karşılıklı bağımlılıkla birleştirilen nesnelere bir araya getirilmesidir [18]. Sistem içerisindeki en temel seviye olan model en basit anlamda bir şeyin temsil edilmesi olarak tanımlanabilir. Birbirine entegre bir dizi basit bileşen ile bir sistem arasındaki farkı oluşturan, parçaların etkileşim (bağımlılık) düzeyi ve ortak bir amaca hizmet etme eğilimidir. Bu sebepten ötürü sisteme bütünsel bir yaklaşım ile tanım yapılacak ise “Mantıklı bir sonucun

gerçekleşmesi için birlikte hareket eden ve etkileşime giren bir varlık topluluğu” tanımı sentezlenmiş bir tanım olarak karşımıza çıkar [17].

Webster sözlüğünde sistem; “Ortak bir plana tabi olan veya ortak bir amaca hizmet eden çoğu zaman çeşitli parçalardan oluşan karmaşık bir birlik; düzenli etkileşim ve karşılıklı bağımlılıkla birleştirilen nesnelere bir araya getirilmesi veya toplanması” olarak tanımlanmıştır [18]. Sözlükteki anlamıyla sistem, çeşitli parça veya bileşenlerin birleşmesiyle ortaya çıkmış gibi kabul edilir. Ancak basit bir dizi ile entegre bir sistem arasındaki fark, sistemdeki parçaların etkileşim, bağımlılık ve ortak amaca hizmet etme eğilimidir. Bu kapsamda sistem kavramı “mantıklı bir sonun başarılması için birlikte hareket eden ve etkileşime giren bir varlık topluluğu” olarak tanımlanabilir [17]

Bir sistemi tanımlamak için o sistemi oluşturan parçaların nasıl işlediğinin matematiksel ve/veya mantıksal ilişkilere açıklamak gerekir. Matematiksel ve/veya mantıksal ilişkiler ile yapılan bu açıklama modeli oluşturur. Bir sistemin modeli, modeli oluşturan kişi tarafından çözülmeye çalışılan sorunlardan bağımsız değildir. Bu kapsamda aynı sistem içerisinde farklı sonuçlara erişmek için tasarlanmış modeller farklılık gösterir. Bir N nesnesi, bir kişi tarafından oluşturulmuş S sisteminde T sorularına cevap verebiliyorsa bu S sistemin modelidir denir [20].

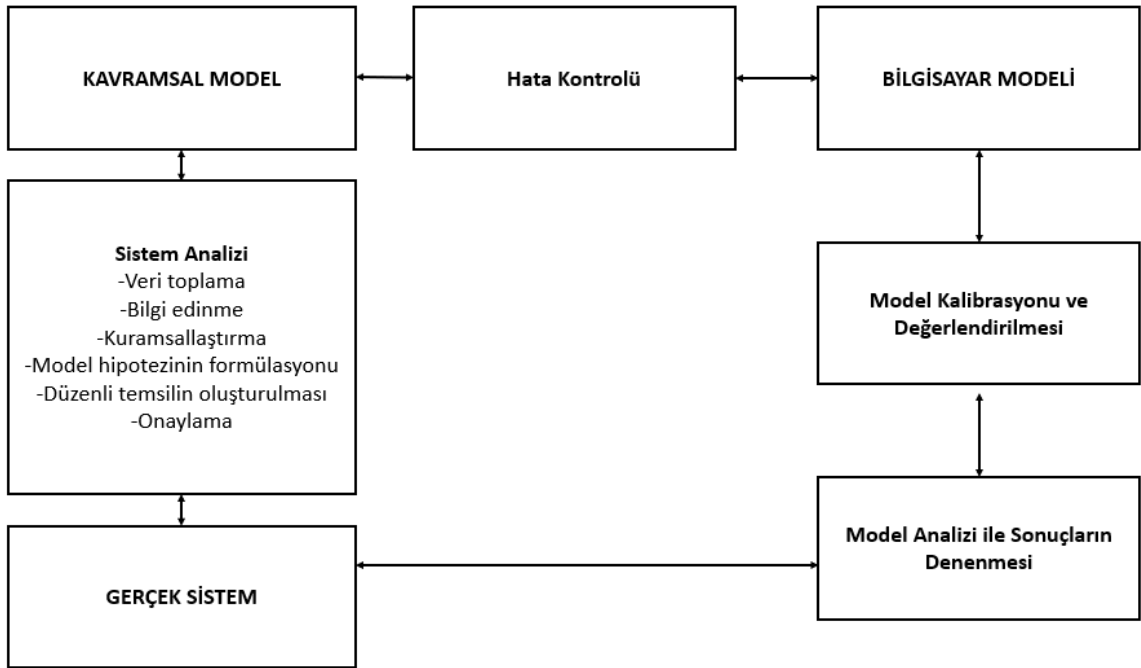
## 2.2 Model Oluşturma Süreci

Modelleme, bir fiziksel durum ya da aktivitenin kopyasını ya da denklemlerini oluşturmak anlamına gelir. Temsil edilen bir yapının oluşturulması için temel anlamda o durumun nasıl bir çalışma mantığına sahip olduğu bilinmeli ve gözlenmelidir. Bu gözlemler onun gerçekle olan uyumunu belirtir. Bu bir yapının dış yüzeyi olabileceği gibi salınım hareketi yapan bir topun hızının düşüşünün matematiksel denklemler ile ifade edilmesi de olabilir. Modelleme süreci modellenecek durumun analiz edilmesiyle başlar ve sonucunda yapılan gözlem, ölçüm ve düzenlemelerle ortaya çıkar. Bu süreç Daellenbach [21] tarafından aşağıdaki gibi tasarlanmıştır:

- *Yapı elemanları*: Durumda belirtilen zaman dilimi içinde çok yavaş değişen ya da sabit olan durumun unsurları ya da bileşenleri yapı elemanlarıdır. Bir fiziki ya da mantıksal bileşenlerin özellikleri gibi fiziksel yapılar, binalar, donanımlar ve işlevsel yapısal unsurlar yapı elemanları arasında sayılabilir.

- *Süreç unsurları*: Değişen ya da akış halindeki durumun özellikleri süreç unsurlarıdır. Bir yapı içinde devam eden faaliyetler, malzeme ya da bilgilerin akışı ve işlenmesi ve devam eden karar alma mekanizması süreç unsurları olarak düşünülebilir.
- *İlişkiler*: Yapı süreçleri nasıl etkiler veya şartlandırır sorusuna cevap veren yapı ve süreç unsurları arasındaki ilişkilerdir.

Şekil 2.1 model oluşturma sürecindeki iş akışını göstermektedir. Model oluşturmada temel gerçek bir sistemin oluşturulmasıdır. Gerçek sistemden elde edilen veriler ile sistem analizi yapılır ve kavramsal model oluşturulur. Oluşturulan modelin hataları kontrol edildikten sonra bilgisayar modeli ortaya çıkar. Bu model kalibre edildikten sonra bir model analizi yapılarak sonuçlar irdelenir. Tüm bu işlemler sırasında kontroller geriye dönük olarak yinelemeli şekilde gerçekleştirilir. Oluşturulan model gerçek sisteme uygun olarak tasarlanmışsa model kabul görür.



Şekil 2.1 Model oluşturma sürecinin metodolojik adımları [22].

### 2.3 Trafik Akışının Modellenmesi

Trafik insanlar tarafından belirli kalkış ve rotalar ile tanımlanabilir. Ancak trafiğin %60 civarı bireyin özel hareketlilik ve karar verme duygusuyla oluşmaktadır. Bu durum trafiğin gerçek anlamda modellenmesindeki en büyük zorluk olarak karşımıza çıkar. Trafik modellenmesi temelde üç ana yaklaşıma göre yapılır. Bunlar makroskobik,

mikroskobik ve ikisinden etkilenecek ortaya çıkarılan mesoskobik yaklaşım olarak adlandırılmaktadır [23].

### 2.3.1 Makroskobik Modelleme

Trafik akışlarının makroskopik modellenmesi genellikle sürekli trafik akışına dayanır. Bu teoriyi temsil eden eşitlik (2.1) süreklilik eitiği olarak bilinir [24]:

$$\frac{\partial q(q,t)}{\partial x} + \frac{\partial k(x,t)}{\partial t} = 0 \quad (2.1)$$

Eşitlikte  $x$  konumu,  $t$  zamanı,  $q(x,t)$  trafik akışını ve  $k(x,t)$  trafik yoğunluğunu göstermektedir. Bu eşitlik kullanılarak trafikte gecikme, duraklama, toplam yolculuk gibi çeşitli bilgiler türetilir. Makroskobik akış üretim yönteminde temel olan her bir aracın hareketinin oluşturduğu hareketlilik değil ağ üzerinde oluşan toplam hareketliliktir. Bu nedenle büyük ölçekli çalışmalarda makroskobik yaklaşım sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yaklaşım en çok orjin- destination (OD) matrisleri ile birlikte kullanılmaktadır.

### 2.3.2 Mikroskobik Modelleme

Mikroskobik akış modellemesi trafikte akış oluşturan her bir aracın hareketinin belirtilmesine dayanır. Bu çevredeki hareketliliğe göre hızlanma, yavaşlama, şerit değiştirme gibi günlük hayatta uyguladığımız sürücü davranışları modellenir. Araçların birbirini nasıl takip ettiğine dair mikroskobik modellemeler Reuschel ve Pipes (1950,1953) tarafından geliştirilmiştir [25,26]. İlerleyen yıllarda General Motors tarafından yapılan araştırmalar ile uyarıcı tepki modelleri adı verilen bir yöntem Gerlough ve Huber (1975) tarafından geliştirilmiştir [27]. Bu modele ait Eşitlik (3.2)'de verilmiştir.

$$S_{(t+T)} = P \times U(t) \quad (2.2)$$

Eşitlikte  $S$  tepki süresini,  $t$  öndeki etkinin gerçekleştiği süreyi,  $T$  etkinin kullanıcı tarafından algılandıktan sonraki tepki verme süresini,  $P$  kullanıcının hassasiyetini,  $U$  uyarıcıyı temsil etmektedir.

Mikroskobik modelleme yaklaşımı iki temel soru etrafında şekillenmektedir. Bunlar;

- Sürücünün tepkisel özelliği nedir?

- Sürücü hangi uyarıcılara tepki veriyor ve hassasiyetinin ölçülmesinin temeli nedir?

Bu temel soruların çözüm denklemleri ve araştırmaları ise Barceló [18] tarafından açıklanmıştır. Bu tez çalışması kapsamının dışında tutulduğundan ilgili çözümler burada verilmemiştir.

### 2.3.3 Mesoskopik Modelleme

Mesoskobik yöntem, sistemin başa çıkabildiği kadar araç ile mikroskopik, genel ulaştırma sorunları için bilgi verecek kadar da makroskopik veri akışının üretilmesi üzerine kurgulanmıştır. Mesoskopik modelleme, mikroskopik modellerin ihtiyacı olan ağ hakkındaki detaylı bilginin tamamına ihtiyaç duymaz. Buna karşın kullanıcıya genel durumundan daha detaylı biçimde bilgi verebilir. Mesoskopik yöntem ağ hakkındaki verilerin mikroskopik yaklaşım kadar detaylı olmayan ancak mikroskopik yaklaşımdan detaylı olan bilgileri sunar [28].

Temelde, mesoskopik trafik simülasyonu iki ana yaklaşıma dayalı olarak şekillenir:

- Bireysel taşıtların dikkate alınmadığı ve paketler halinde hareket ettiği yaklaşım.
- Akış dinamiklerinin bireysel taşıtların basitleştirilmiş şekilde kullanıldığı yaklaşım.

Bu iki yaklaşımdan biri, kullanıcının istekleri, ağ ve akış hakkındaki bilgileri, donanım ve zamana göre tercih edilir.

## 2.4 Trafik Simülasyon Modellerinin Kalibrasyonu

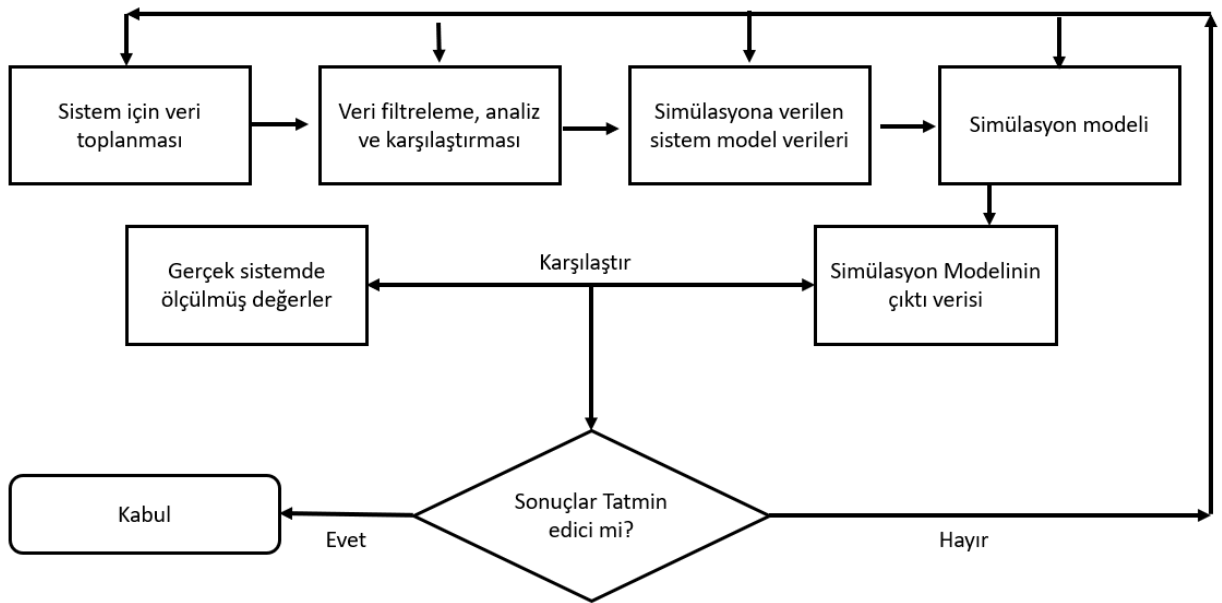
Kalibrasyon işlemi, geçerli bir model üretecek parametrelerin değerlerini bulma hedefine sahiptir. Model parametreleri değerlerle birlikte verilmelidir. Kalibrasyon, belirli bir ortamda saha verilerinden bu tür değerleri elde etme işlemidir [29].

Bir modelin gerçeği tamamen gösterip göstermediğinin anlaşılabilmesi için simülasyonun sonucu olarak verdiği değerler ile gerçek değerlerin karşılaştırılması mümkündür. Buna göre Rouphail ve Sacks (2003) Eşitlik 2.3'i ortaya koyarak modeli çözümlenmiştir[30].

$$P\{|\text{gerçek durum} - \text{simülasyon çıktıları}| \leq d\} > a \quad (2.3)$$

Eşitlikte  $d$  modelin gerçeğe ne kadar yakın olduğunu gösteren tolerans değeri,  $\alpha$  sonucun kesinliğini gösteren önem düzeyidir.

Simülasyon modeli oluşturulurken yapılan kalibrasyon adımları Şekil 2.2’de gösterilmektedir. Bu işlem adımları sistem için veri toplanması ve analizi ile başlar, sistem modelinin oluşturulması ile devam eder. Oluşturulan modelin verdiği sonuçlar gerçek hayattaki elde edilen veriler ile karşılaştırılır. Sonuç olarak model kabul edilir ya da daha önceki işlem adımlarına geri dönülerek gerekli düzenlemeler yapılır.



Şekil 2.2 Simülasyon modelinin kalibrasyon adımları [18]

#### 2.4.1 Modelleme Kabulleri

Trafik modellemeleri temel olarak üç kabule dayanır. Bunlar:

- Girdiler doğru şekilde modellenebilir,
- Simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırılacak ölçülen veriler kümesi güvenilirdir,
- Kontrol verilerinin hatasız olduğu varsayılır.

Mantıksal olarak bu kabullerin hatasız olduğu düşünülür. Ancak ölçüm verilerinin kendi içindeki kontrol ve korelasyonları kontrol edilir ise bu kabuller modellemenin güvenilirliğini etkilemez.

## 2.4.2 Modelleme Veri Kaynakları

Veri kaynakları trafik simülasyonlarında ikiye ayrılır. Bunlar:

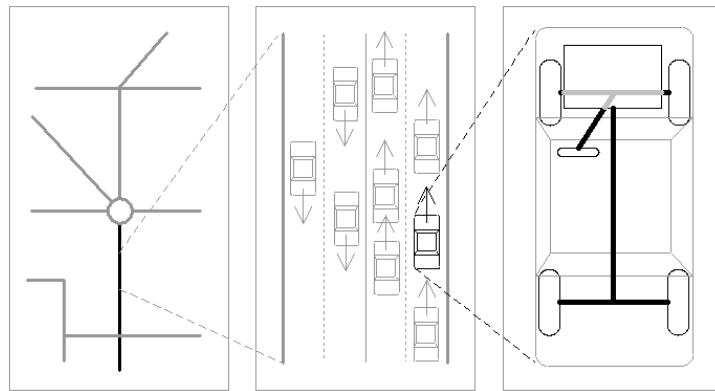
- *Doğrudan gözlemlenebilir veriler:* Mevcut teknolojilere dayanan ve modellemeyi oluşturmadan önce ön işlemlerin yapılması gereken trafik değişkenlerinin ölçümleridir.
- *Doğrudan gözlenemeyen veriler:* Bu veriler tedarik, kaynak ve sonuçları, O-D matrisleri gibi dolaylı hesaplama üzerine oluşturulan verilerdir. Bu verilerin işlenmesi çeşitli tahmin algoritmalarıyla yardımıyla yapılmaktadır.

## 2.5 Trafik Simülasyonu Kavramı

Trafik simülasyonları, oluşturulmuş model üzerindeki hareketliği ortaya koymayı amaçlayan temel simülasyon yaklaşımından uzak değildir. Bu simülasyonların ihtiyaç duyduğu girdilerin başında yol ağı gelir. Her trafik simülasyon uygulamasına göre yol ağına farklı girdiler eklenebilir. Girdi çeşitliliğine göre simülasyon sonuçları büyük farklılıklar gösterebilir [31].

### 2.5.1 Trafik Simülasyonu Yaklaşımları

Trafik simülasyonu türleri temelde trafik akış modellemelerine benzese de farklı bir ayırım söz konusudur. Bu ayırımı en iyi açıklayan şekil Krajzewicz (2002) tarafından çizilmiştir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Trafik simülasyonu tipleri :a)Macroscopic b)Microscopic c)Sub-microscopic[32]

Macroscopic, microscopic ve sub-microscopic simülasyon yaklaşımları araçların hareketlerinin farklı sonuçlarıyla ilgilenmektedir (Şekil 2.3). Bu nedenle her yaklaşımın girdi verileri de farklılık göstermektedir.

Macroscopic simülasyon türünde yollar ya da bölgeler yoğunluk olarak belirlenir, sonuçlar ve girdiler bunlara göre düzenlenir. Bunlardan en yaygın olanı OD matrisi gibi çeşitli dağılımları girdi olarak kabul eder ve buna göre verileri üretip kullanıcıya sunar.

Microscopic simülasyon türü sistemdeki her aracın ne zaman nerede olduğu hakkında bilgi alıp sonucunda bilgi üreten simülasyon yaklaşımıdır. Bu yaklaşımdaki simülasyonların modellenmeleri macro düzeyde yapıldıktan sonra micro düzeye indirgenecek şekilde sonuçlar elde edilebilmektedir. Her bir aracın konum, hız, ivme gibi bilgileri islendiği için daha fazla işleme maruz kalmakta bu da simülasyonun çalışma sürelerini uzatmaktadır.

Microscopic simülasyonların geliştirilmiş bir şekli olan sub-microscopic simülasyonlar araçların tek tek hareketlerinden ziyade bu araçlarda bulunan motor, tekerlekler, fren, diferansiyel gibi araç bileşenlerinin verecekleri tepkilerle ilgilenmekte ve bu veriler üzerinden sonuçlar sunmaktadır. Otonom araçların yakın gelecekte hayatımızın büyük bölümünü kontrol edeceğini varsaydığımız zaman bu tür simülasyonların çok daha fazla yaygınlaşıp araçların verimliliklerinin arttırılması amacıyla kullanılacağı düşüncesi ortaya çıkmaktadır [32].

### 2.5.2 Parametre Düzenlemesi

Parametrelerin belirlenmesi simülasyonun doğruluğunun temelini oluşturmaktadır. Simülasyonlar temel olarak üç denetleme adımından geçer [31].

- *Kapasite kalibrasyonu*: Modelin sahada gözlemlenen trafik akışını en iyi şekilde temsil etmesi için ilk olarak genel girdiler verilerek sonuçlara bakılır. Daha sonra saha çalışmaları, dedektör verileri gibi ek ve yardımcı veriler ile bağlantı noktalarındaki kalibrasyon ince ayar olarak yapılır. Yolun kapasite bilgisi saha verisi elde edilemediği zamanlarda kalibrasyon kaynağı olarak kullanılabilir.

- *Rota Seçim Kalibrasyonu:* Model paralel sokaklar içeriyorsa rota seçimi önemli olacaktır. Oluşturulan rotalar POI, ölçüm noktalarından gerilen veriler gibi verileri ile ilk yapıdan ayarlamadan sonra ince ayar olarak yapılır.
- *Performans Doğrulama:* Son olarak sistem performansının genel model tahminleri, seyahat süreleri kuyruklar, gibi simülasyon sonuçlarının saha sonuçları ile karşılaştırılması ile gerekli ayarlamalar yapılır [31].



### ŞEHİRLERDE HAREKETLİĞİN SİMÜLASYONU

Şehirlerde taşıt hareketliliğinin ortaya koymak için geliştirilmiş çok sayıda ticari ve akademik yazılım mevcuttur [33]. En çok bilinen ticari simülasyon yazılımlar VISSIM, AVENUE, Paramics, Aimsun, DRACULA olarak sıralanabilir. Bunu yanı sıra açık kaynak kodlu SUMO ve MITSIMLab gibi akademik çalışmalar için kullanılacak simülasyonlar bulunmaktadır.

Bizim çalışmamız SUMO'yu inceleme sebebimiz hem ülkemizde bu yönde yapılan bir çalışma bulunmaması hem de farklı disiplinler bağ oluşturabileceği öngörümüzdür. Tüm bunların yanında tamamen açık kaynaklı ve kullanıcı dostu olması tercihimizde diğer bir etken olmuştur.

#### 3.1 SUMO'nun Temelleri

2000 yılında iki farklı enstitünün birlikte çalışmasıyla dizayn süreci başlatılan SUMO 2001 yılında üzerinde çalışılan bir proje haline gelmiş, 2002 yılında yayınlanmıştır. Başlangıçta Köln Uygulamalı Bilimler Enstitüsü ve Alman Uzay Ajansı Ulaştırma Enstitüsü birlikte çalışırken bu birliktelik 2004 yılına kadar sürmüştür. Daha sonra bu projenin geliştirilmesi ve ilerlemesi tamamen DLR tarafından sağlanmıştır [18].

Açık kaynak kodlu, Windows ve Linux işletim sistemler için derlenmiş bir trafik simülasyonu olan SUMO Genel Kamu Lisansı (GNU) ile yayınlanmaktadır. GNU lisansı açık kaynaklı yazılımların dağıtımında en çok kullanılan lisans tipidir. Bu lisansa sahip yazılımlar kullanıcının isteklerine göre dağıtılabilir, kaynak kodları değiştirilebilir, içindeki modüllerin başka yazılımlara aktarabilir [34]. SUMO çok modüllü bir yazılımdır. Mikroskobik düzeyde bir simülasyon yazılımı olmasına karşın bir şehrin bütünündeki

trafik yol ağını simüle etmek için tasarlanmıştır. Şehir içindeki araç hareketlerinin yanında alternatif tren ağları da dahil olmak üzere sokak ağındaki toplu taşıma sistemlerinin çok modlu modellenmesi için uygundur.

SUMO 'nun temel özellikleri aşğıdaki gibi sıralanabilir:

- Çarpışmadan kaçınan araç hareketi: Her araç bölüm 3.1.1 de belirtilecek şekilde herhangi trafik kazası oluşturmadan hareket eder.
- Farklı araç tipleri: Simülasyon içerisine otobüs, kamyon, kamyonet gibi otomobil dışındaki araç türleri eklenip, bu araç türlerinin fren ve manevra mesafeleri gibi temel özellikleri belirtilebilir.
- Şerit değişikliği ve çok şeritli sürüşler: Gerçek hayatta olduğu gibi şeritler arasında fayda miktarını düşünerek şerit değişikliği yapılabilmektedir.
- Kavşağa dayalı yol hakkı kurallarının tanımlanabilmesi: İstenilen kavşaklarda istenilen yoldaki araca geçiş üstünlüğü verilmesi özellikleri tanımlanabilmektedir.
- Farklı şeritlerin birbirine bağlanabilmesi: Karmaşık yol bağlantıları sistemsel olarak birbiri ile bağlantılanıp düzenlenebilmektedir.
- Her zaman periyodunda kontrol: İstenilen zaman aralıklarında simülasyon çalıştırılabilir ya da belirlenen zaman aralıkları için sonuç verileri özelleştirilebilmektedir

### 3.1.1 SUMO'da Araç Hareketleri

SUMO mikroskobik temelde bir simülasyon yazılımı olması nedeniyle sistem içinde tanımlanan tüm araçların her birinin hareketleri ile ilgilenir. Araç hareketleri farklı doğrultularda olabilir. Bir hareketin simülasyon içerisinde nasıl ve ne gerekçeyle gerçekleştiğinin ortaya konulması simülasyon geçerliliği açısından önemlidir. SUMO 'da kullanılan simülasyon Gipps Modeli olarak adlandırılan modelinin düzenlenmiş bir halidir [35,36]. Gipps, seyrek ve sıkışık akış gibi trafiğin temel özelliklerini gösterebilen modeldir. Her zaman adımında, aracın hızı, simülasyon adımlarında çarpışmadan uzak bir sistem davranışına yol açacak şekilde, takip edilen aracın hızına uygun hale getirilir. Bu hıza güvenli hız  $v_{safe}$  denir ve eşitlik 3.1 kullanılarak hesaplanır:

$$V_{safe}(t) = V_1(t) + \frac{g(t) - V_1(t)T}{\frac{v}{b(\bar{v})} + T} \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte  $V_1(t)$  t zamanında öndeki aracın hızını,  $g(t)$  t zamanında öndeki araç ile olan mesafeyi, T sürücünün reaksiyon süresini (genellikle 1 saniye), b yavaşlama fonksiyonunu göstermektedir.

SUMO'da araç hareketleri temel olarak şerit boyunca ve şeritler arasında olmak üzere ikiye ayrılır:

*Şerit Boyunca Hareket:* SUMO, Krauß (1998) tarafından zaman aralıklı ve uzay-sürekliliği araç takip modelinin değiştirilmiş bir versiyonunu kullanır. Model, bir araç için güvenli takip mesafenin türetilmesine dayanır ve takip eden aracın takip edilen lider aracın arkasında durmasına olanak sağlar. Sistemde araçların maksimum yavaşlamalarının eşit olduğu varsayılır. Ayrıca takip eden aracın tepki süresi dikkate alınır. Fren mesafesine bağlı güvenli bir hızı belirlemek için Eşitlik 3.2 kullanılır. Öndeki araç aradaki mesafe ve öndeki aracın hızını dikkate alan güvenli hız çarpışmadan uzak bir davranış sağlar.

$$V_{safe}(t) = -T \times B + \sqrt{(T \times b)^2 + V_{leader}(t - 1)^2 + 2 \times b \times g_{leader}(t - 1)} \quad (3.2)$$

Burada  $V_{safe}(t)$  t zamanında güvenli hız (metre/saniye), T takip eden aracın reaksiyon süresi (saniye), b maksimum yavaşlama yeteneği (metre/saniye<sup>2</sup>)  $V_{leader}(t)$  takip edilen aracın sürati (metre/saniye)  $G_{leader}(t)$  takip eden ve takip edilen araç arasındaki t zamanındaki mesafe (metre) olarak tanımlanmaktadır.

Krauß (1998) modelinin bir diğer önemli özelliği sürücünün istenen hızı gerçekleştirilmede mükemmel olmadığını varsayabilmesidir. Aracın hızı modelin seçilen hızından biraz daha düşüktür. Örneğin optimum hız ile sürüş hızı arasındaki rasgele fark spontane sıkışmaları ve sürücülerin gerçek dünyada karşılaştığı dur kalk hareketlerini modele aktarır [37].

*Şeritler Arasındaki Hareket:* Takip eden araç yolunun, her şeridi yolun devam ettiği ve rotadaki yola göre belirtilen görüş mesafesine kadar olan kısmı inceler. Takip eden araç, geçerli bir şeridi değiştirmek zorunda kalmadan söz konusu şeridi kullanmaya devam edebilmesi dışında, şeritlerin kullanma bilgileri toplanmaktadır. Bu şerit bilgileri göz önüne alındığında, takip eden araç için bir şeridin diğer bir şerit yönünde değişmesi gerekli gerekmediğine karar verilir. Bu, takip eden aracın rotasının devam edemeyeceği

konuma bıraktığı mesafenin, şerit değişikliği için gerektiği varsayılan mesafeden daha düşük olması durumunda geçerlidir. Varsayılan gerekli mesafe Eşitlik 3.3 kullanılarak hesaplanır.

$$b_{l_n}(t) = \frac{(V_{poss}(t, l_n) - V_{poss}(t, l_c))}{V_{max}(l_c)} \quad (3.3)$$

Burada,  $b_{l_n}(t)$  t zamanında araç için şerit değiştirmenin yararını,  $l_c$  ve  $l_n$  sırasıyla aracın mevcut ve komşu şeritlerini,  $V_{poss}(t, l_n)$  aracın t zamanında  $l$  şeridindeki güvenli sürüş hızını (metre/saniye),  $V_{max}(l)$  aracın belirtilen şeritte ulaşabileceği hızı (metre/saniye) göstermektedir.

Komşu şeritlerden elde edilecek yarar oranları kullanılarak, simüle edilmiş sürücünün komşu şeride geçerken sağlayacağı faydayı temsilen “hafıza” değişkeni oluşturulur. Şeridi değiştirmenin sağlayacağı fayda hafıza değerinden fazla ise bu bilgi değişiklik faydası ile hafızaya işlenir. Eğer şeridi değiştirmenin faydası hafıza değerinden az ise mevcut şeridin komşu şeritten daha faydalı olduğu hafızaya yazdırılır. Bir şerit değişikliği yalnızca, takip eden aracın şeridinin, şu anki konumunda yeterince yer açmak istemesi durumunda mümkündür. Ek olarak, ortaya çıkan boşluklar, sürüşün yeni bir çarpışmaya mahal vermeden devam etmesine olanak sağlayacak büyüklükte olmalıdır. Takip eden aracın istenen şeride girmesine izin verilmemesi durumunda, bu şeritte önündeki ve arkasındaki araçlar ile etkileşime girmeye başlar. Aracın kendisi ve hedef şeridindeki araçlar, aşağıdaki kuralları kullanarak arkalarında engellenmelerine bağlı olarak hızlarını günceller. Mevcut şerit, hedef şerit ve geçilecek şerit dahil olmak üzere rotanın sürdürülemediği konuma ulaşana kadar kullanılması gereken şeritlerin işgallerini dikkate alır. Bu nedenle, söz konusu aracın önündeki araçların uzunlukları kalan mesafeden çıkartılır. Simülasyon hedef şerit üzerindeki bir kuyruğun sonundaki aracı şerit değiştirmeye zorlar, önce sıkışmış bir şeridin yanından geçmeye çalışmalarını önler ve sonra başka bir şeride geçişin mümkün olmadığına karar verirse aynı şeride ekler. Şerit değişikliği mantığını tam oturtmak için gerçek hayattan bir örnek vermek daha açıklayıcı olacaktır. Bir araç üç şeritli yolda orta şeritte sürüşüne devam etmektedir. Eğer ki önündeki araç yavaşlar ve şeridin hızını düşürürse sürücü aracı daha hızlı akan sol şeride geçirmeyi düşünecektir. Ancak bunun için sol şeritte arkasına gireceği aracın hızı ve önüne gireceği araç ile arasındaki mesafeyi kontrol etmesi gerekmektedir. Eğer ki şerit

değiştirme işlemi yapamaz ise kendisi de hızını düşürecek ve arkasından gelen aracın hızının düşürülmesine neden olacaktır. Yukarıda eşitlik ve kavramsal olarak açıklanan şerit değiştirme mantığı bu gerçek dünya durumundan ortaya çıkmıştır.

### 3.2 SUMO ile Model Oluşturma

SUMO farklı dosya girdilerini kullanabilmesine karşın temelde üç dosyaya ihtiyaç duyar. Bunlar, yol ağı dosyası, araç rota dosyası ve yapılandırma dosyası olarak adlandırılmaktadır.

Bu temel dosyaların yanında; otobüs durakları, yol kapanma bilgileri, trafik düzenlemeleri gibi farklı dosyalar simülasyona girdi olarak verilebilmektedir. SUMO geliştiricileri yazılımın daha etkin kullanılabilmesi için dokuz farklı bileşen tanımlamıştır. Bu bileşenler farklı dosya tiplerinde tutulan yol ağlarını simülasyon için uygun hâle getiren, istenilen yoğunlukta araç rotası oluşturan, simülasyon çalışırken online olarak değişiklik yapma imkânı sağlayan, otobüs hatları ve duraklarını tanımlama izni veren, çeşitli işlemlerin kullanıcılar tarafından daha kolay yapılabilmesini sağlar [28]. SUMO çıktı olarak; istenilen saniye sıklığında araç iz verisi, noktadan geçen araç türü ve sayısı verisi, araçların emisyon değerleri, şerit değiştirme bilgileri gibi çok çeşitli alanlarda kullanılacak verileri üretmektedir.

*Trafik Işıkları:* Trafik ışıkları temel olarak kavşakta sürücülerin birbirleri ile iletişim halinde olmasını sağlayan iletişim aracıdır. Bu iletişim sisteminde yol ağının kesişen iki kısmının birine dur, yavaşla, yol ver gibi bilgileri sabit kırmızı ya da yanıp sönen kırmızı/sarı ışıklar ile verirken diğer tarafa sabit yeşil ya da yanıp sönen yeşil ışık ile geç/kontrollü geç bilgisini vermektedir. Bu yüzden trafik ışıkları kavşak yapılarının önemli bir bileşenidir. Basit kullanım hakkı kurallarının dışında, simüle edilen her bir kavşak trafik ışıklarıyla bir iç kavşak şeklinde tasarlanabilir. Bazı kavşaklarda, sağa dönerken kırmızı ışığın yanıp sönmeye durumu oluşması gibi, araçların lambayı görmezden gelmelerine izin verildiğinden, buna ilişkin yol hakkı kurallarının bir uzantısı uygulanabilir. Simülasyon içerisinde bu tür tanımlama yapılabilen ve ışıkları kavşaklardaki durumu gerçek dünyaya uygun hale getirilebilmektedir.

### 3.2.1 Yol Ağı Dosyası

Yol ağıları SUMO'ya farklı kaynaklardan farklı dosya formatlarında aktarılabilir. Bu formatlar arasında shapefile, OSM, dxf sayılabilir. Fakat trafik ışıkları ya da kavşaklardaki yol akış doğrultuları gibi bazı veriler eksik kalabilmektedir. Eksik verilerin tamamlanması ve simülasyon içerisinde kullanılabilmesi için SUMO NetConvert isminde bir modül geliştirmiştir. Bu modül bilgisayarın komut dosyası üzerinden çalıştırılabilmekte ve gerekli düzenlemeler yapılarak eksiklikler kullanıcılar tarafından giderilebilmektedir.

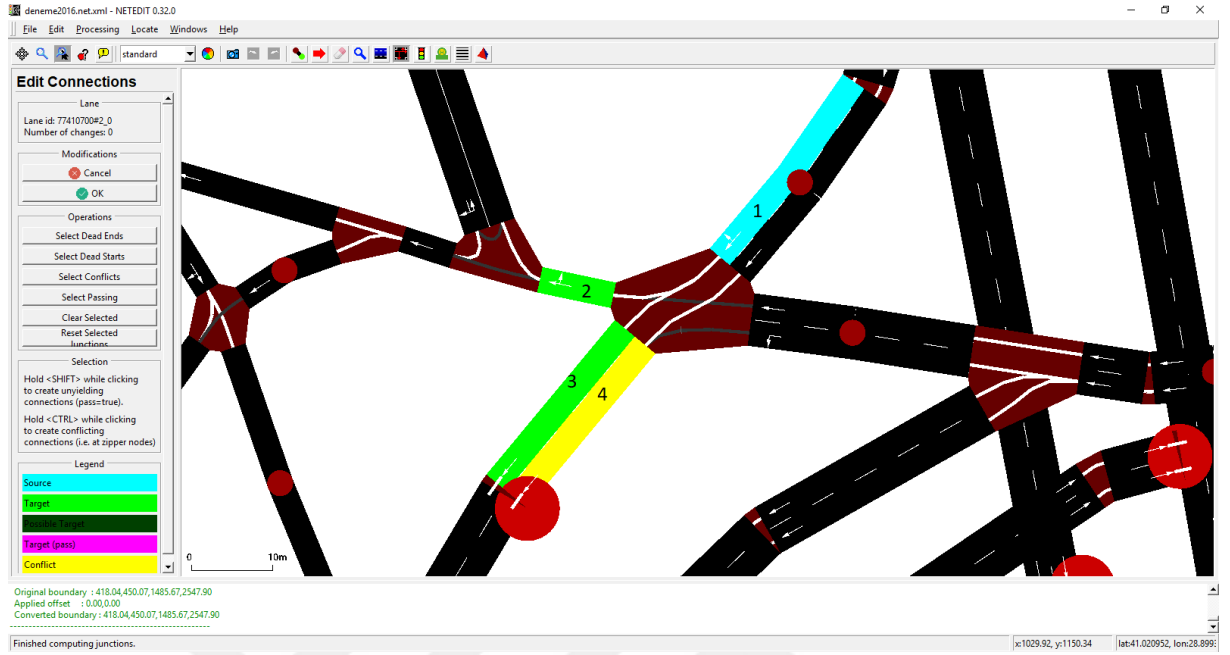
NetConvert modülünün temel çalışma adımları aşağıdaki gibidir:

- Yollar için dönüş yönlerinin hesaplanması
- Şeritler arasındaki bağlantıların hesaplanması
- Kesişim türlerinin hesaplanması (sağdan sola, öncelikleri gibi)
- Kavşağa katılan yolların geçiş üstünlüğü gibi etkilerinin belirlenmesi
- Yol ve kesişim geometrilerinin hesaplanması

Ayrıca, NetConvert modülü kullanılarak trafik ışıklarının yerleri ile ayrılma ve katılım şeritleri gibi bilgiler deneysel yöntemlerle düzenlenebilir. Bu deneysel düzenlemeler hakkında çok fazla bilgi sahibi olunamayan büyük ağlar için oldukça önemlidir. Netconvert iş adımlarının büyük bir kısmını otomatik olarak tanımlamaktadır. Ancak üretilen yol ağı bir kullanıcı tarafından kontrol edilmeli ve son düzenlemeler yapılmalıdır. Bu düzenlemelerin yapılabilmesi için SUMO'ya NetEdit modülü eklenmiştir.

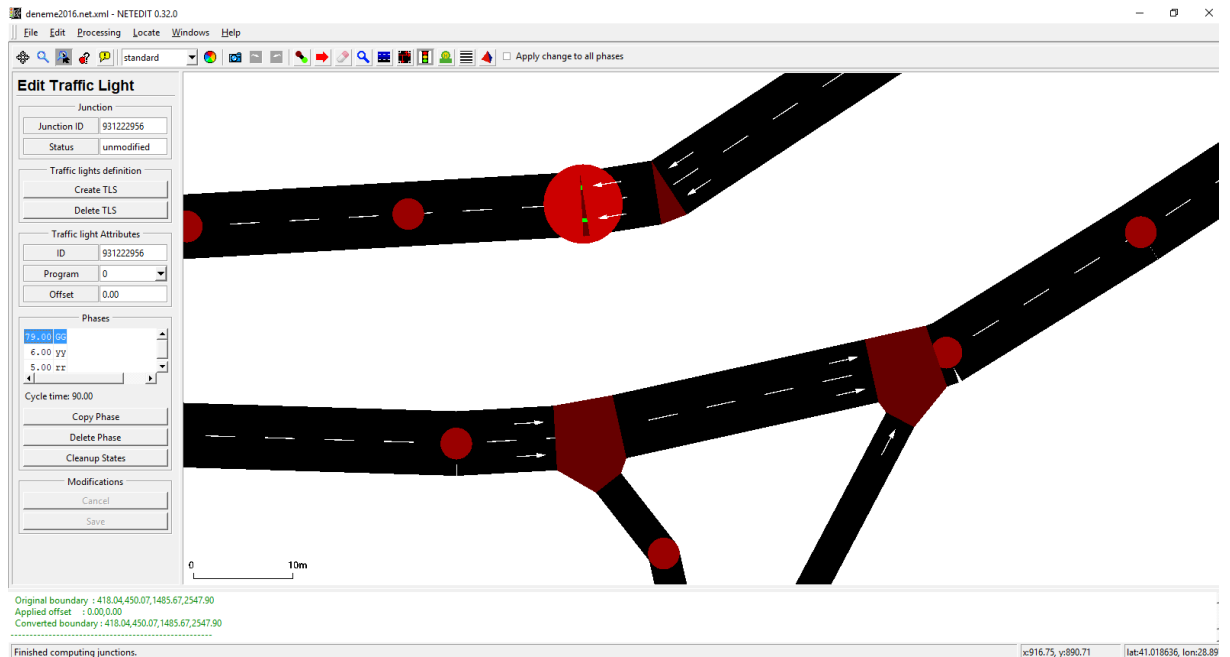
NetEdit yardımıyla kavşaklar görsel olarak düzenlenebilir ve trafik ışıklarının zamanlamaları değiştirilebilir. Yol bağlantılarında şerit ya da bağlantılar düzenlenerek araçların şerit değiştirme öncelikleri tanımlanabilir ve dönüş yasaklarının eklenebilir. Otomatik olarak işlenen bir yol ağında mevcut kopukluklara görsel olarak müdahale edilebilir. Ayrıca, NetEdit modülü kullanılarak; yol ağıyla bağlantılı otobüs durağı, yeni rota oluşturma noktası, hız kontrolcüsü gibi bazı bilgiler sisteme eklenebilir. Örneğin gelen bir aracın kavşakta hangi yöne doğru hareket gidebileceği ve bu yönleri seçerken hangi öncelik sıralamasına uyacağı NetEdit programı ile düzenlenebilir. Şekil 3.1'de belirtilen görüntüde 1 ile gösterilen hattan gelen aracın 2 ve3 numaralı yollara birinci öncelikli olarak devam edeceği bunun yanında 4 numaralı yola da olası durumlarda

geçebileceği belirtilmiştir. İstenirse bu özellikler değiştirilebilmektedir. Örnek olarak sağa dönüş yasağı uygulamak istenirse bu yolun özelliğinden ayarlayabilmektedir.



Şekil 3.1 NetEdit programı devam edilecek şeritlerin belirlenmesi

NetEdit programında kavşaklara trafik ışıkları eklenebilmektedir. Şekil 3.2 de seçtiğimiz yol kavşağına trafik ışığı yerleştirilmiştir. Trafik ışığı menüsünden ışığın zamanlamaları ayarlanabilmektedir.



Şekil 3.2 NetEdit programı trafik ışıkları sürelerinin belirlenmesi

### 3.2.2 SUMO'da Rota Modellemesi

Ağ oluşturulduktan sonra bu ağ üzerinde hareket edecek araçlara ihtiyaç duyulur. Kullanıcı burada araçlar hakkında simülasyona girdiler sunmalıdır. Bu girdiler sayesinde trafik oluşturacaktır. Yolculuk, başlangıç ve varış bilgilerine bağlı olarak kalkış saatindeki harekete göre şekillenir. Rota tanımlanan bir yolculuktur, yani bir rota sadece aracın kalkış ve varış noktasını ifade etmez, aracın tüm geçeceği kenarları ifade eder. SUMO'nun ihtiyaç duyduğu araç hareketleri rota tanımlamalarına dayanır. Rota tanımlamaları için kullanıcılara çeşitli yöntemler sunulur. Bunlardan hangisinin uygun olacağı kullanıcının genel ihtiyaçlarına ve elindeki verilere bağlıdır. SUMO tarafından kullanıcılara sunulan rota tanımlama yöntemlerinden bazıları aşağıdadır:

- *Seyahat Tanımlarını Kullanma:* Her yolculuk başlangıç ve bitiş noktasının tanımlanmasından ve kalkış saatinde oluşur. İstenilen yolculukları rotalara dönüştürmek için DUAROUTER modülü kullanılır. Ya da ilgili seyahatler doğrudan SUMO'da tanımlanabilir.
- *Akış Tanımlarını Kullanma:* Seyahat tanımlarını kullanma yaklaşımıyla benzerdir. Kullanıcı bu yöntemi kullanarak aynı kalkış ve varış noktalarına sahip araçları türeterek trafik akışı üretebilir.
- *Varsayılan Rota Tanımlarını Kullanma:* Herhangi bir saha ölçümü yoksa veya verilerin gerçekçi olmadığı durumlarda, trafik akışı üretmenin hızlı bir yoludur. Bunun için RandomTrips modülü kullanılabilir.
- *OD Matrisi Tanımlamalarını Kullanma:* Kaynak-Hedef-Matrisleri (veya OD-matrisleri) büyük trafik ağlarında belirlenen insanların yaşadıkları ve çalıştıkları yerlerin belirli olduğu durumlarda kullanılan bir yöntemdir. Bu tür veriler daha çok şehrin yöneticileri tarafından elde edilir ve kullanılır. SUMO OD2Trips modülü ile verilen OD-matrislerini düzenleyerek rotalara dönüştürür.
- *Akış Tanımlarını ve Dönüş Oranı Tanımlarını Kullanma:* Kullanıcı trafik akışı için simülasyon bölgesinin belirli alanları akış tanımı dışında bırakabilir ve bunun yerine kavşaklardaki dönüş oranlarını kullanabilir. Bu durumda SUMO JtrRouter modülü kullanılabilir.
- *Dedektör verilerinin kullanılması (gözlem noktaları):* İndüksiyon döngüleri ve benzeri cihazlar, trafiği ölçmek için şehir yöneticileri tarafından yaygın olarak kullan bir

yöntemdir. Her noktadan geçen araç sayısı belirlenir ve sisteme girdi olarak sunulur. SUMO DfRouter modülü kullanılarak araç rotaları oluşturulabilir.

- *El ile giriş:* Kullanıcı her bir araç için manuel olarak XML formatında rota dosyası oluşturabilir. Bu dosyaların el ile oluşturulması çok küçük ölçekli çalışmalarda kullanılabilir.
- *Nüfus istatistiklerini kullanma:* Nüfus verileri ActivityGen modülü kullanılarak araç rotalarına dönüştürülebilir.

### 3.2.2.1 RandomTrips Modülü

Randomtrips, girdi olarak verilen ağ üzerinde rasgele araç rotaları oluşturur. Bunu başlangıç ve son noktaları rastgele veya diğer girdiler ile şekillenmiş verileri ağ üzerine dağıtarak yapar. Sonuç olarak DUAROUTER modülü için uygun bir temel rota oluşumu sağlar. Rota yapılandırması girdi olarak belirtilen saniyede başlayıp kullanıcı tarafından belirlenen aralıklarla eşit olarak tekrar ettiği varsayılır. Bunun yanı sıra bu modülde girdi ve çıktıların ağ sonunda başlaması ve bitmesi gibi çeşitli seçenekleri mevcuttur.

RandomTrips modülünün bazı özellikleri aşağıda belirtilmiştir:

- Minimum mesafe seçeneği, bir gezinin başlangıç ve bitiş kenarları arasında minimum düz bir çizgi mesafesi sınırı koyar. Komut dosyası, yeterli mesafeye sahip yeterli sayıda rota bulana kadar kenar dağılımından örnekleme sürdürür.
- Sarkma Faktörü seçeneği, rotaların ağın uç noktasından başlama ve bitme oranını belirler. Eğer burada 10 değeri verilirse, halefi olmayan veya selevi olmayan kenarların bir yolculuğun başlangıç veya bitiş noktası olarak seçilme olasılığı 10 kat daha fazla olacaktır. Bu, simüle edilen alanın dışında başlayan ve biten trafiği modellerken kullanışlıdır. Bu çalışmamızda kullandığımız bir özelliktir. Bu modül ile istenirse yayalar araçların yerine konulup yürüyüş rotalarının yoğunluğu elde edilebilir.

### 3.2.2.2 Dfrouter Modülü

DfRouter, yol ağları üzerinde araç sayımı verilerini kullanarak araç rotaları oluşturur. Bu yaklaşımda imkân dahilinde tüm araç sayımlarından gelen veriler kullanılır. DfRouter ağdaki araç giriş ve çıkış noktalarından geçen tüm araçların sayıldığını varsayar.

Oluşturulan modelin gerçek dünya ile uygun olabilmesi için karayolu planlamacıları tarafından sık sık kullanılan veri tipi bu modül ile kullanılabilir. Algoritma, kaynak akışlarının toplamının, her ölçüm aralığı için çıkış akışlarının toplamıyla eşleştiğini varsayar. Bu neden bazen seyahat süreleri göz ardı edilebilir. DfRouter'ın araç akışını üretirken ki özellikleri şu şekilde belirtilmiştir:

- Her ölçüm aralığı için üretilen araçların sayısı yalnızca kaynak dedektörleri tarafından belirlenir.
- Çıktı dedektörlerinde aşırı akış göz ardı edilir.
- Çıktı dedektörleri daha az akış ölçülse dahi ölçülen akışla orantılı olarak rotalar oluşturulur.
- Çıktı dedektörleri hiç akış olmadığını ölçerse, tüm araçlar rastgele bir çıktı dedektörüne gidecektir.

DfRouter rota oluşturma işlemini dört adımda gerçekleştirir (Şekil 3.5):

İlk adım olarak veri girişi yapılacak dedektörlerin tip ve yerlerinin belirlenmesi gelmektedir. DfRouter elimizde bulunan yol ağının tamamının dedektörler ile donatılmış ve sağlıklı şekilde araç geçiş bilgilerinin var olduğunu varsayar. Bu da tüm dedektörler arasında endüksiyon döngüsünün var olduğu anlamına gelir. Bu yüzden DfRouter ilk önce tüm dedektörlerin yerlerinin ve üzerinden geçen araç sayılarının olduğu veri dosyasına ihtiyaç duyar. Bunun için aşağıdaki gibi yapıda oluşturulmuş .xml formatında verinin kullanıcı tarafından üretilmesi gerekmektedir.

```
<detectors>
  <detectorDefinition id="<DETECTOR_ID>" lane="<LANE_ID>"
pos="<POS>" />
... further detectors ...
</detectors>
```

**Şekil 3.3** Dedektör dosyası formatı

Bu dosya türünde id dedektörün id numarasını, lane dedektörün bulunduğu ağın id numarasını, pos şerit üzerindeki dedektörün, belirtilen şeritteki başlangıç noktasından olan uzaklığının metre cinsinden ifadesidir.

Bu kısma çok fazla aracın uğrak noktası olduğu İlgi Noktası (Point of Interest-POI) gibi yerler eklenerek maç çıkışı gibi zamanlarda oluşabilecek hareketliliğin etkileri gözlemlenebilmektedir.

İkinci adımda dedektörler arasındaki rotaların hesaplanması gerekmektedir. İlk işlem adımından sonra araçların hangi noktadan başlayarak hangi noktaya varacakları belirlendiğine göre araçların hangi noktalar üzerinden hareket edeceği hesaplanabilir. Bu kısımda oluşturulmuş rota dosyalarının nereye kaydedeceği bilgisi modüle girilir.

Normalde modül sadece dedektörlerin olduğu ağlardan başlayıp biten rotalar oluşturur ama burada dedektörlerin olmadığı noktalardan da rotalar oluşturma seçeneği kullanıcılara sunulmuştur.

Üçüncü adım dedektörler arasındaki trafik akış miktarının hesaplanmasıdır. Bu adımda DfRouter ağın trafik akışını oluşturmak için gerçek dünyada elde ettiğimiz araç geçiş sayılarını kullanır. Burada da kendine has sıralama ile örnek olarak aşağı görebileceğiniz bir txt dosyası girdi olarak modüle verilmelidir.

```
Detector;Time;qPKW;qLKW;vPKW;vLKW  
myDet1;0;10;2;100;80  
... further entries ...
```

### Şekil 3.4 Araç geçiş sayıları dosya formatı

Burada ilk satır ilk adımda sistemin kullandığı dedektör idlerinden olmalıdır.

Time: Araçların detektörden geçmeye başlayacağı andan itibaren geçen süre,

qPKW: Süre içerisinde detektör üzerinden geçen araç sayısı

qLKW: Bu süre zarfında detektör üzerinden geçen araçların hızları (km/s cinsinden)

vLKW: Bu süre zarfında dedektörün üzerinden geçen toplu taşıma araç sayısı

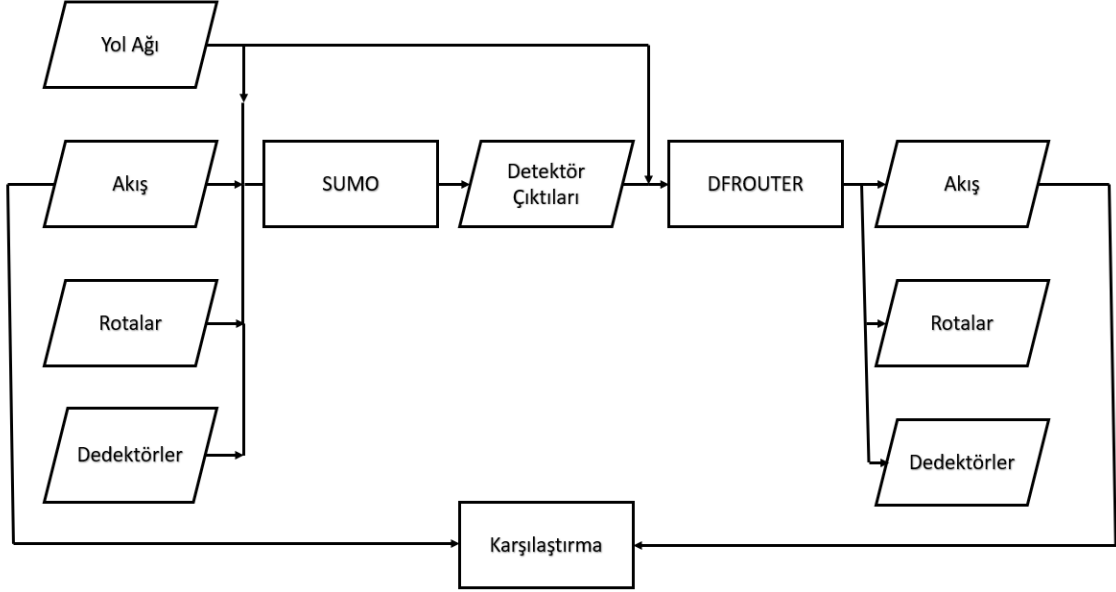
vLKW: Bu süre zarfında dedektörün üzerinden geçen toplu taşıma araçlarının ortalama hızı

Dördüncü ve son adım olarak trafik akışı ve diğer bileşenlerin kaydedilmesi gelmektedir. İlk 3 adımda üretilen tüm veriler modülden istenmesi durumunda ayrı olarak

kaydedilebilir ve saklanabilir. Temel olarak istenilen trafik akış dosyası da bunların arasında yer almaktadır. Kullanıcı istediği yerin basit bir dosya yolunu tanımlayarak çıktı verilerini saklar.

Varsayılan olarak, araçlar her ölçüm aralığı boyunca eşit aralıklarla yerleştirilir. Bu "randomize-flows" seçeneği kullanılarak değiştirilebilir.

Oluşturulan dosya, rota çıkış dosyasından rota atanmış ayrı araçlar içerir.



Şekil 3.5 DfRouter modülü akış şeması

### 3.2.2.3 Özel Rota Tanımlama

SUMO kolay kullanımlı bir program olmasının yanı sıra kullanıcılara geniş bir kullanım alanı sağlamaktadır. Rota tanımlamaları da bu geniş kullanım alanlarından bir tanesidir. Kullanıcı belirlediği sınırlı yol ağlarında istediği kadar rota tanımlayabilmektedir. Tanımlanan rotaların gerekli istatistik bilgileri ile harmanlanarak kullanıcılar özel olarak tanımlanması kolay ve çok uygulanan bir yöntem değildir. Ancak temel olarak belirli rotaların doğru formatta üretilmesi ile SUMO'ya girdi olarak sunulabilmesi imkân dahilindedir.

### 3.2.3 Konfigürasyon Dosyası

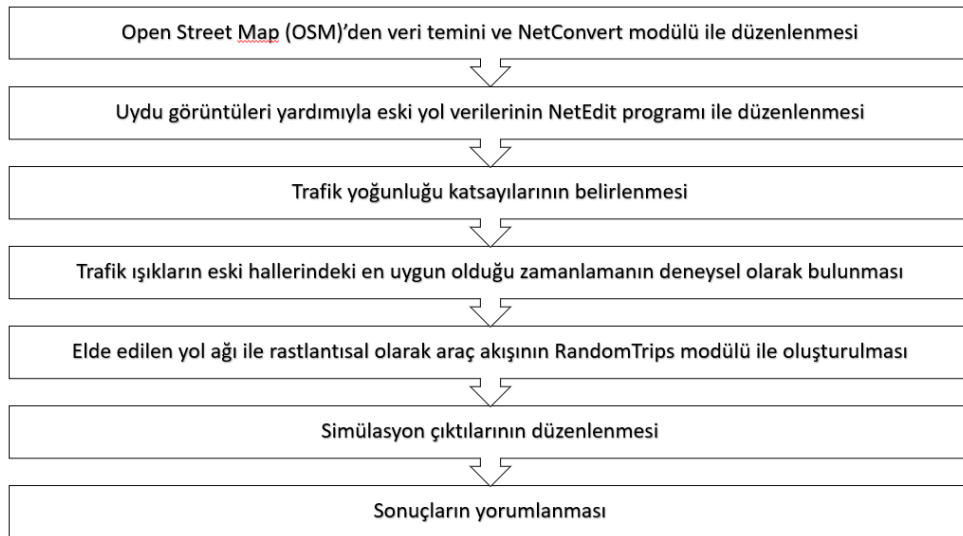
Girdi olarak simülasyona verilecek tüm dosyaların tanımlandığı xml formatındaki dosyadır. Temel olarak simülasyonun çalışmasını sağlayan derleyici dosya niteliğindedir. Çıktı olarak istediğimiz tüm veriler de bu dosya içerisinde belirtilir.

```
1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2
3 <configuration>
4
5   <input>
6     <net-file value="2016.net.xml"/>
7     <detector-files value="11.det.xml"/>
8     <measure-files value="2016.1.txt"
9   </input>
10
11  <processing>
12    <ignore-route-errors value="true"/>
13  </processing>
14
15  <output>
16    <fcd-output value="fod.xml"/>
17  </output>
18  <report>
19    <verbose value="true"/>
20    <duration-log.statistics value="true"/>
21    <no-step-log value="true"/>
22  </report>
23
24 </configuration>
25
```

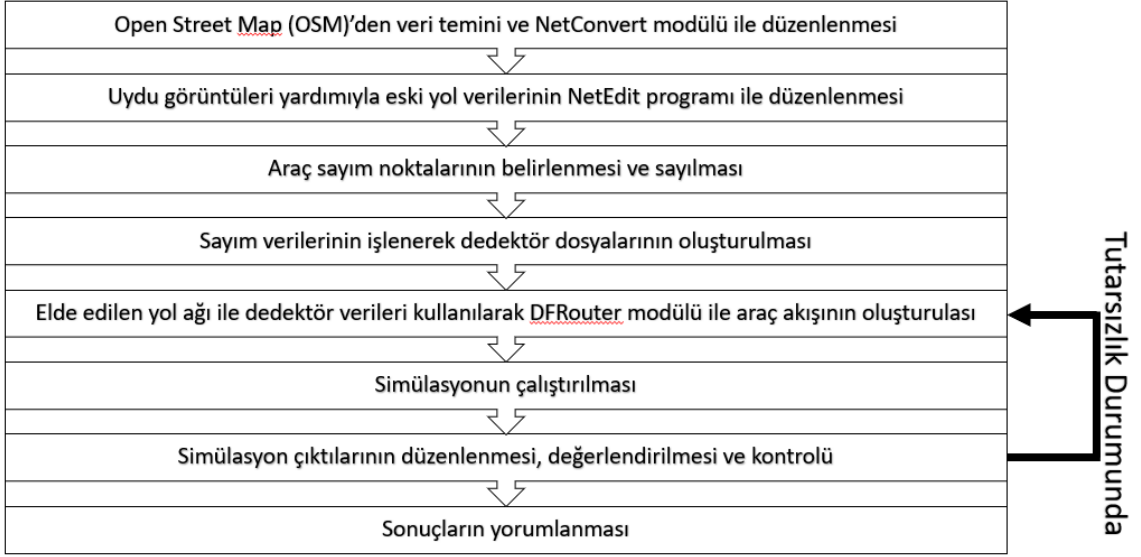
Şekil 3.6 Konfigürasyon dosyası

**TRAFİK SİMÜLASYONUNA İLİŞKİN BİR UYGULAMA**

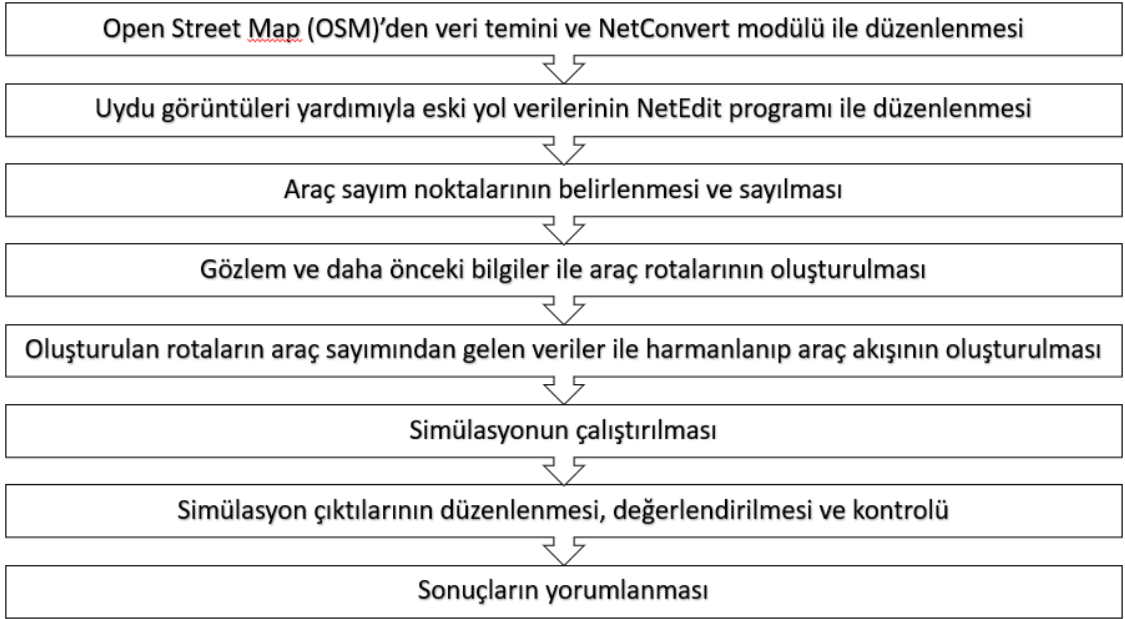
Bu uygulamanın amacı yüksek ücretler verilerek hazırlanılan trafik simülasyonlarının karşısında basit ve GNU lisansı ile dağıtılan SUMO'yu kullanarak kavşak üzerinde bir uygulama göstermektedir. Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'de gösterdiği gibi düzenleme yapılmış bir kavşağa ait olan 2 farklı yol ağında 3 farklı trafik akışı üretilmesi yöntemini kullanmıştır. İlk olarak her üç yöntem için de yol ağları oluşturulmuş, ardından girdili olarak üreteceğimiz yol ağı için ölçüm noktaları belirlenmiş ve araçlar 3 farklı saat diliminde sayılmıştır. Ardından bu girdiler DFRouter kullanılarak araç akışı oluşturulmuştur. İkinci yöntemde ise RandomTrips modülü ile rastgele rotalar oluşturulmuş, sadece ağdaki araç yoğunluğu bilgileri verilmiştir. 3. Yöntem olarak kullanıcı gözlemlerine dayanan rotalar oluşturulmuş, araç sayımları ile dağıtımlar yapılarak rotalar elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen araç sayıları ve akışları görsel olarak incelenmiştir.



**Şekil 4.1** RandomTrips modülü ile yapılan işlemlerin adımları



**Şekil 4.2** DFRouter modülü ile yapılan işlemlerin adımları



**Şekil 4.3** Özel rota tanımlanarak yapılan işlemlerin adımları

#### 4.1 Çalışma Bölgesi

Çalışma alanımız İstanbul ili Esenler ilçesinde bulunan Eski Londra Asfaltı Caddesinin Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsü çıkışında bulunan bir kavşak olarak seçilmiştir (Şekil5.1 ve 5.2). Bu alanın seçilmesinde ki etken, burada bulunan üç kavşak noktasının 2016 yılında düzenlenmiş ve kavşağa bağlı olan çevre yollarda ekleme ve sadeleştirilmeler yapılmış olmasıdır. Çalışmada bu kavşaklarda yapılan değişikliklerin

rastlantısal olarak oluşturulan trafik simülasyonu ile gözlenmesi ve sonuçlarının diğer çalışmalar için temel oluşturması amaçlanmıştır.



**Şekil 4.4** 2012 uydu görüntüsünde düzenleme yapılan bölgeler-düzenleme öncesi



**Şekil 4.5** 2017 Uydu görüntüsünde düzenleme yapılan bölgeler-düzenleme sonrası

Çalışmamız kapsamında Alman Uzay Ajansı (DLR) tarafından geliştirilen Simulation of Urban Mobility (SUMO) yazılımı kullanılmıştır. SUMO hakkındaki bilgilere tezin önceki kısımlarında detaylı olarak yer verilmiştir.

Çalışmanın girdisiz olarak üretilen model bölümünde RandomTrips modülü kullanılmış araç akış verileri sistem tarafından girdisiz olarak üretilmiştir.

Çalışmanın gerçek dünya ile uyumlu olarak üretilen model bölümünde DFRouter modülü kullanılmıştır.

#### 4.2 Verilerin Toplanması

Çalışmamızın gerçek dünya ile düzenlenmiş hali için kavşağın belirlenen 10 noktasında 22 Ekim 2018 tarihinde 9:00-9:30, 14:00-14:30, 17:00-17:30 zaman aralıklarında araç sayımı yapılmıştır. Araç sayım noktaları belirlenirken kavşağı en iyi temsil edecek noktaların belirlenmesine özen gösterildi. Bu sayım noktaları Şekil 4.6'de elde edilen veriler Çizelge 4.1'de gösterildi. Araç sayım saatleri belirlenirken günün farklı zamanlarından verilerin toplanmasına özen gösterildi. Ölçümlerin 1 saatlik periyotlar halinde değerlendirilebilmesi için araç sayıları rota oluşturma değerleri girilirken 2 katsayısı ile çarpıldı.

Araç sayımı yapılırken kamyon, kamyonet, tır, minibüs ve otobüs benzeri büyük araçlar araba olarak sayıldı. Bunun yanında motosiklet ve bisiklet geçişleri araç sayımına katılmadı. Bunun nedeni bu tür araçların trafik yoğunluğu üzerinde fazla baskı oluşturmamasıdır.



Şekil 4.6 2017 Uydu görüntüsünde dedektör noktalarının konumları

**Çizelge 4.1** Dedektör id ve değerleri

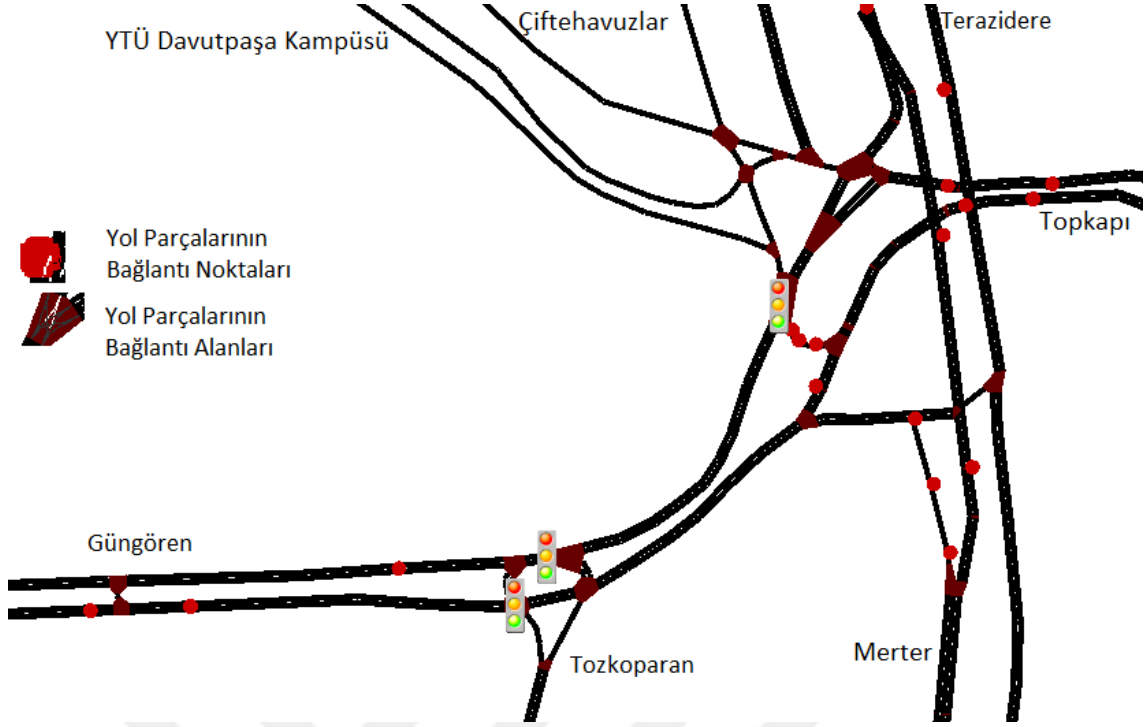
Noktaid	1. Ölçüm (9:00-9.30)	2. Ölçüm (14:00-14-30)	3. Ölçüm (17:00-17:30)
det1	179	167	183
det2	125	134	145
det3	177	132	120
det4	25	41	32
det5	155	110	108
det6	204	212	185
det7	71	63	86
det8	211	198	189
det9	53	63	56
det10	50	52	43

### 4.3 Yol Ağı Verisinin Oluşturulması

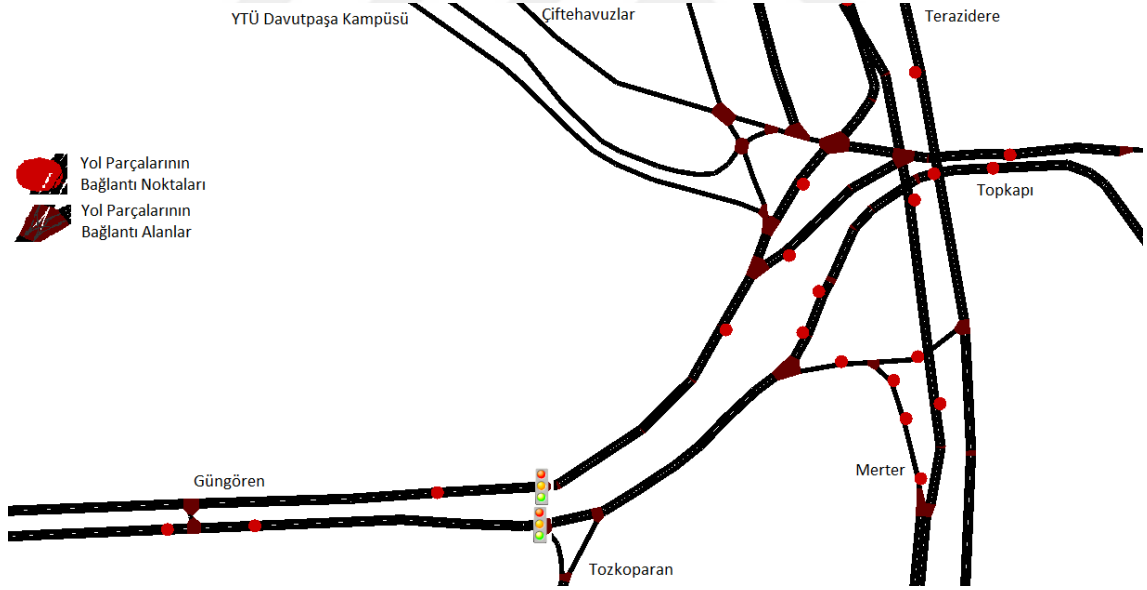
Çalışmada kullanılan yol ağı verisinin temeli açık veri paylaşımı Open Street Map üzerinden indirilmiştir. Daha sonra bu veriler SUMO'nun NetConvert modülü kullanılarak SUMO Yol ağı tipine dönüştürüldü. Bu dönüştürme sırasında SUMO ek verileri içerisinde bulunan tip dönüştürme verileri girdi olarak modüle verilmiştir.

Elde edilen veriler 2016 yılındaki kavşak düzenlemesinden sonra oluşturulduğu için NetEdit programı kullanılarak 2012 yılındaki haline göre yeniden düzenlendi. Bu düzenleme sırasında GeoEye-1 uydusu tarafından algılanan 0.45 metre pankromatik, 1.65 m çok bantlı çözünürlüğe sahip uygu görüntülerinden yardım alındı.

Kavşak yapısı içerisinde bulunan trafik ışıkların zamanlamaları sahadan elde edilen güncel veriler ile oluşturuldu. 2012 yılındaki trafik ışığı zamanlamaları ise deneysel yöntemle elde edildi. Bu kısımda yetkili kurumların gerekli çalışmayı yaparak trafik ışığı zamanlamalarını en yararlı şekilde ayarladığı varsayıldı.



**Şekil 4.7** 2012 Yol ağı temel gösterimi



**Şekil 4.8** 2016 Yol ağı temel gösterimi

Şekil 4.7 ve Şekil 4.8 'de çalışma yapılan 2012 ve 2016 yol ağlarının NetEdit programı içerisinde görüntülerini içermektedir. Bu görüntülerde kırmızı noktalar 2 farklı yol kısmının bir biri ile birleştiği bağlantı noktalarını, kahverengi alanlar ise 2 den fazla yol kısmının bir biri ile birleştiği bağlantı alanlarını göstermektedir. Ağ üzerinde gözükten trafik ışığı işaretleri de gerçek hayatta trafik işaretlerinin bulunduğu yerleri göstermektedir.

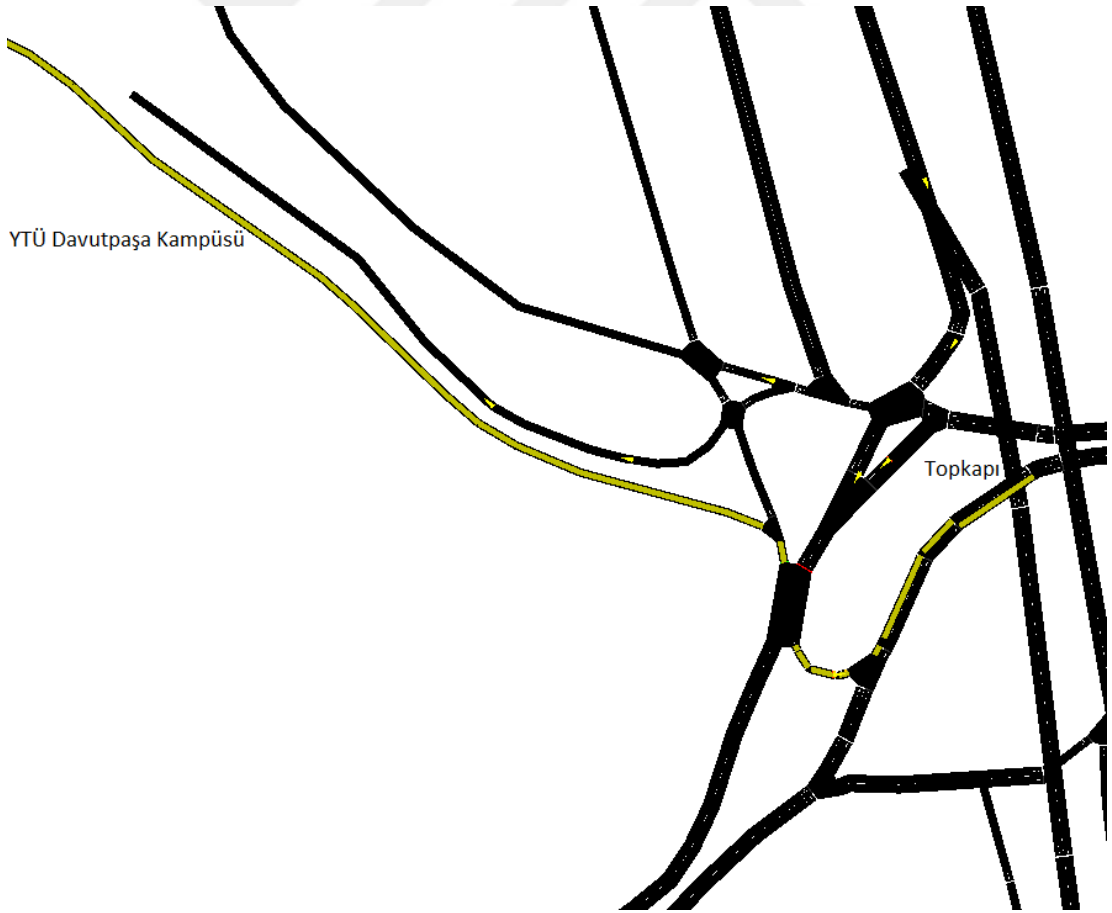
#### 4.4 Rota Verilerinin Oluşturulması

Araç rota verileri tezin önceki kısmında detaylı açıklanan DfRouter ve RandomTrips modülleri kullanılarak üretildi. Gerçek dünya ile uyumlu olarak üretilecek araç rotaları için ihtiyacımız olan detektör dosyaları kullanıcı tarafından el ile oluşturuldu. Dedektör, araç geçiş sayıları ve yol ağıımızın girdi olarak sunulduğu DfRouter modülünden sonuç çıktısı olarak araç rotaları verileri elde edildi. Deneysel olarak üretilen modelde ise RandomTrips modülüne sadece yol ağı girdi olarak verilmiş, diğer ayarlamalar varsayılan olarak bırakılıp araç rota verileri elde edilmiştir. Bununla birlikte araç yoğunluğu 3 farklı senaryo için oluşturulmuştur. Bu üç farklı senaryoda RandomTrips modülündeki yoğunluk girdisinin araç yoğunluğunun yoğun olmayan saatler için oluşturulan modelinde yoğunluk katsayısı olarak 1, orta yoğun olarak belirlenen zamanda 2, çok yoğun olarak belirlenen zamanda 4 olarak belirlenmesi ile oluşturulmuştur.

Bahsedilen 2 SUMO modülünün sonuçları izlendikten sonra modüller ile oluşturulan rotaların yetersiz kaldığı gözlenmiştir. Bu yetersizliği aşmak ve gerçek durumu doğru modelleyebilmek için gözlemlerler yapılmıştır. Bu gözlem ve çalışma bölgesi hakkındaki bilgiler kullanılarak 2012 ve 2016 yıllarındaki durumlara dayalı olarak araçların çalışma alanına giriş ve çıkış yaptıkları temel noktalar belirlenmiş, günlük hayatta gözle takip ile araçların hangi yolları kullandığı incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda çalışma alanına giriş ve çıkış yapan 11 rota belirlenmiştir. 11 temel rotanın çalışma alanına giriş ve çıkış notaları ile ölçüm noktalarına dayalı olarak hesaplanan araç geçiş sayıları belirlenmiştir. Belirlenen araç sayılarının temel rotalar üzerindeki dağılımı ile rota dosyasının oluşturulması sırasında Python programlama dili kullanılmıştır. Oluşturulan rotalardaki araçların simülasyona giriş ve çıkış noktaları sonuçlarıyla birlikte Çizelge 4.5’de detaylı olarak gösterilmiştir. Bununla birlikte rotaların gösterimine örnek teşkil etmesi için 2012 yılında Davutpaşa Kampüsü’nden çıkan bir aracın Merter’e gitmesi için kullandığı rota Şekil 4.9’da; 2018 yılında Davutpaşa Kampüsü’nden çıkan bir aracın Topkapı’ya gitmesi için kullandığı rota Şekil 4.10’da gösterilmiştir. Bu şekillerde araçların kullandığı yol parçaları sarı renk ile gösterilmiştir.



Şekil 4.9 2016 yol ağında 9 numaralı Kampüs - Merter Rotası



Şekil 4.10 2012 yol ağında 10 numaralı Kampüs - Topkapı Rotası

#### 4.5 Konfigürasyon Dosyalarının Oluşturulması

Simülasyonumuzun çalışabilmesi için istenen konfigürasyon dosyasında girdi olarak vereceğimiz veriler düzenlenmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken husus sisteme girdi olarak verilecek dosyaların türlerinin doğru olarak belirlenmesidir. Bununla birlikte simülasyondan çıktı olarak istediğimiz tüm araçların saniyelik konum verilerinin yazılacağı fcd dosyasının belirtilmesi gerekmektedir.

#### 4.6 Simülasyonun Çalıştırılması

Tüm işlem adımlarının sonucunda SUMO ara yüzü kullanılarak simülasyon çalıştırılır. Simülasyon çalışırken simülasyondaki tüm ağı, belirli bir noktayı ya da belirli bir araç takip edilebilir. Bunun için ara yüzün bize sunmuş olduğu özelliklerden yararlanılır. SUMO ara yüzü çalıştırılırken programın hata menüsü dikkatlice takip edilir. Burada simülasyon çalışırken oluşan hataların hangi saniyelerde gerçekleştiği, hangi aracın bu hataya maruz kaldığı takip edilir.

#### 4.7 Simülasyonun Çıktılarının Düzenlenmesi

Elde edilen çıktı veri dosyası olan FCD analizlerin yapılması için karmaşık olan bir yapıdadır (Şekil 4.11). Bu yapı dosya düzeninde her saniye ayrı ayrı kök olarak tanımlayıp o andaki ağda bulunan araç konum verilerini her bir farklı köke dağıtması şeklindedir. Bu karmaşık formattaki dosyanın düzenlenmesinde özel bir modül ya da program bulunmamaktadır.

```
<fcd-export xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.dlr.de/xsd/fcd_file.xsd">
  <timestep time="0.00"/>
  <timestep time="1.00">
    <vehicle id="1" x="-278.42" y="399.98" angle="197.60" type="DEFAULT_VEHTYPE" speed="0.00" pos="5.10" lane="gneE60_0" slope="0.00"/>
  </timestep>
  <timestep time="2.00">
    <vehicle id="1" x="-278.86" y="398.60" angle="197.60" type="DEFAULT_VEHTYPE" speed="1.44" pos="6.54" lane="gneE60_0" slope="0.00"/>
    <vehicle id="2" x="-257.14" y="461.64" angle="199.16" type="DEFAULT_VEHTYPE" speed="0.00" pos="5.10" lane="gneE59_0" slope="0.00"/>
  </timestep>
</fcd-export>
```

Şekil 4.11 Fcd Dosyası örneği

Verilerin daha rahat anlamlandırılıp sonuçlandırılabilmesi için Python programlama dili kullanılarak düzenleme kod parçaları yazıldı ve ihtiyacımız olan veriler txt formatına dönüştürüldü. Bu sayede sonuçların irdelenmesinde kolaylık sağlandı

#### 4.8 Bulgular

Tüm simülasyonlar çalıştırılırken son araçların ağı 3600. Saniyede girmesi sağlanmıştır. Son anda ağı katılan araçların ağdan ayrılma süreçleri aşağıda Çizelge 4.2, Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4’de görülebilir.

**Çizelge 4.2** Rastlantısal üretilen rotaların ağ yoğunluğuna göre araç sayıları ve simülasyon süreleri

	Toplam Araç Sayısı	Simülasyon Süresi(sn)
2012 Yoğun Olmayan	3593	3726
2016 Yoğun Olmayan	3580	3593
2012 Orta Yoğun	7186	3735
2016 Orta Yoğun	7160	3630
2012 Çok Yoğun	14372	12908
2016 Çok Yoğun	14320	3639

**Çizelge 4.3** Dedektör verileriyle rotaların saatlere göre toplam araç sayıları ve simülasyon süreleri

	Toplam Araç Sayısı	Simülasyon Süresi(sn)
2012(9:00-10:00)	2521	3856
2016(9:00-10:00)	2496	3710
2012(14:00-15:00)	2340	3745
2016(14:00-15:00)	2365	3630
2012(17:00-18:00)	2306	3740
2016(17:00-18:00)	2301	3690

**Çizelge 4.4** El ile oluşturulan rotaların saatlere göre araç sayıları ve simülasyon süreleri

	Toplam Araç Sayısı	Simülasyon Süresi(sn)
2012(9:00-10:00)	1165	3660
2016(9:00-10:00)	1068	3705
2012(14:00-15:00)	1377	3899
2016(14:00-15:00)	1074	3654
2012(17:00-18:00)	1378	3899
2016(17:00-18:00)	1326	3693

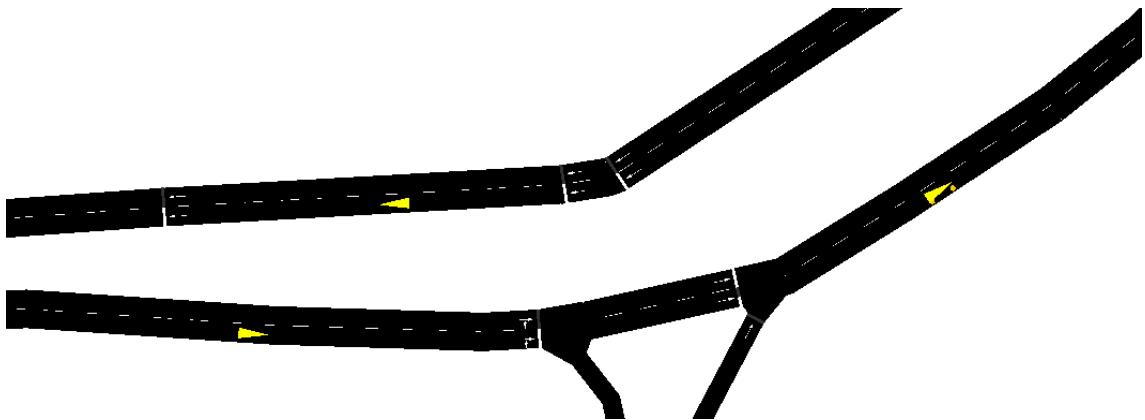
Simülasyonun girdi değerleri ile üretilen araç sayısı karşılaştırıldığında araç sayısı bakımından uyum senaryolara göre %0.89 ila %0.16 arasındadır. Bu değerler araç sayısı bakımından zaman simülasyonun girdi verilerinin işlenmesi başarılı olarak görülmektedir. Simülasyon tamamlanma sürelerine bakıldığında kavşak düzenlemesinin rastlantısal üretilen simülasyonlarda %71.8 gibi büyük oranda iyileşme sağladığı görülmektedir. Ancak gerçek veriler üzerinden yapılan araştırmada yapılan çalışmanın en fazla %0.4 değerinde iyileşme sağladığı görülmektedir.

El ile tanımlanan rotaların tekrarlanması ile oluşturulan akış verisinin girdi olarak sunulduğu simülasyonların tamamlama süresi 6 farklı senaryoda en fazla %6.69 değerine ulaşmaktadır. Ortaya çıkan bu sonuçların kavşak düzenlemesi hakkında daha detaylı şekle bürünebilmesi için el ile oluşturulan rotaları detaylı şekilde incelenmiş ve Çizelge 4.5 oluşturulmuştur. Bu çizelgede yer alan süreler simülasyonun 50. dakikasından sonra simülasyona giren araçların son noktaya ulaşma süresi olarak seçilmiştir.

Şekil 4.12’de el ile oluşturulan rotaların 2012 yılını temsil eden yol ağında kırmızı ışığın simülasyonun 1601. Saniyesindeki kavşağa etkisi gösterilmektedir. Burada normal hayatta olduğu gibi araçlar doğrultularından bağımsız olarak iki şeridi de durdurdukları gözlemlenmektedir. Ayrıca Şekil 4.13 aynı kavşakta aynı zaman diliminde güncel yol ağı ile alınan ekran görüntüsünde ışık kaldırıldığı için trafik akıcılığı artmış olduğu gözlemlenmektedir.



**Şekil 4.12** El ile oluşturulan rotalarda oluşan 2012 orta kavşak yoğunluğu 1601. Saniye

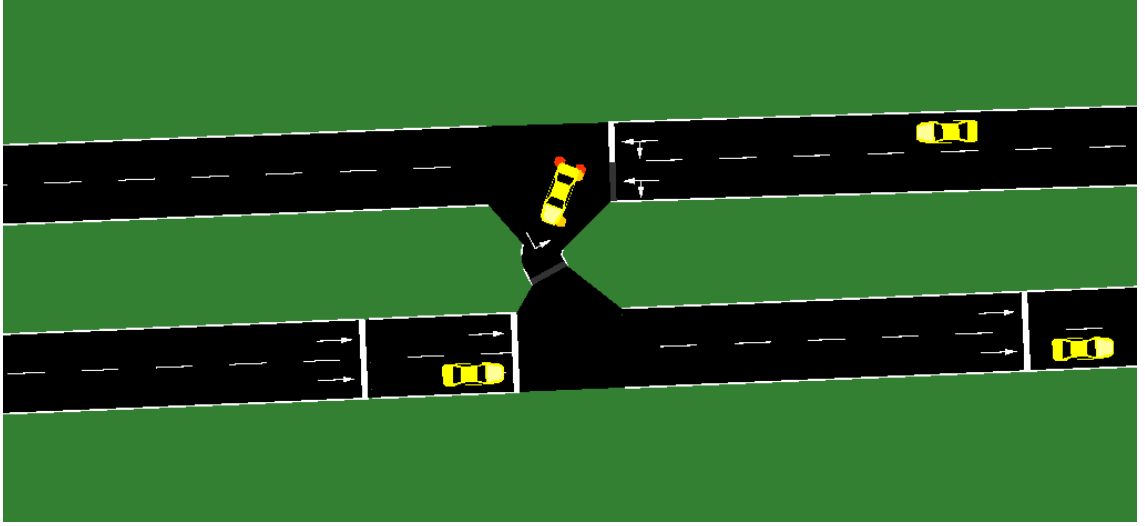


**Şekil 4.13** El ile oluşturulan rotalarda oluşan 2016 orta kavşak yoğunluğu 1615. Saniye

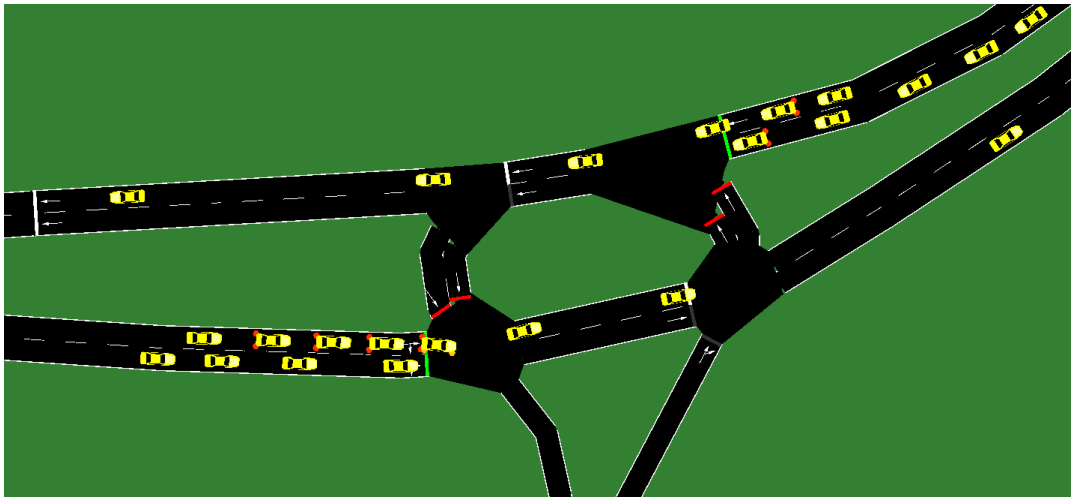
**Çizelge 4.5** El ile oluşturulan rotaların saat aralığı ve yıllara göre ulaşım süreleri

Rota No	Giriş Yeri	Çıkış Yeri	9:00-10 Arası			14:00-15:00 Arası			17:00-18:00 Arası		
			2012 Süre	2016 Süre	Fark (sn)	2012 Süre	2016 Süre	Fark (sn)	2012 Süre	2016 Süre	Fark (sn)
1	Topkapı	Kampüs	47	47	0	50	49	1	44	43	1
2	Terazidere	Güngören	82	58	24	108	66	42	145	64	81
3	Güngören	Tozkoparan	32	25	7	52	22	30	68	21	47
4	Güngören	Mertler	46	44	2	86	30	56	55	31	24
5	Güngören	Topkapı	47	45	2	39	37	2	34	42	-8
6	Topkapı	Çiftelhavuzlar	35	37	-2	19	24	-5	23	40	-17
7	Terazidere	Kampüs	45	47	-2	46	46	0	49	46	3
8	Topkapı	Güngören	84	50	34	132	54	78	158	47	111
9	Kampüs	Mertler	60	75	-15	53	87	-34	76	109	-33
10	Kampüs	Topkapı	166	145	21	128	108	20	139	106	33
11	Tozkoparan	Topkapı	31	34	-3	25	29	-4	38	24	14

Trafik simülasyonlarının sonuçları nitelik değerlerin yanı sıra gözle takip edilmesi gereken çıktılar sumaktadır. Bu görsel çıktıların izlenmesinde Şekil 4.14 de olduğu gibi anlar önem taşımaktadır. Bu şekilde Kuzeyde bulunan araç sola sinyal vermekte, arkasında bulunan araç ise o araca takılmamak için en sağ şeride geçmektedir. Bu gösterimde dönüş yapan aracın sinyalinin yandığı , simülasyonun izlenmesinde ise geçiş önceliği kendisinde olmadığı için diğer aracın geçiş yapmasını beklediği görülmektedir. Aynı gözlemler kavşak noktasındaki diğer trafik ışıklarında da yapılmaktadır. Kırmızı ışıktan sonra ışığın yeşile dönüşü ile araçların aynı anda hareket edememesi ve aralarında boşlukların ortaya çıkması simülasyon izlenirken net bir şekilde gözlemlenirken Şekil 4.15'te de bu durum gözlemlenebilmektedir.

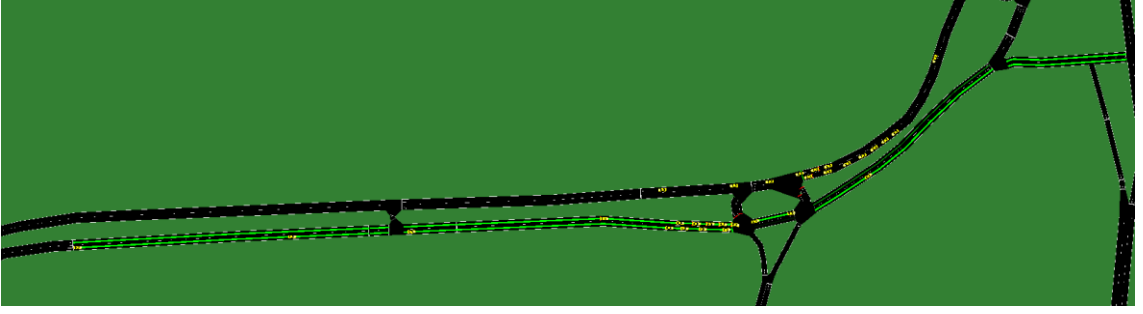


**Şekil 4.14** Farklı gösterim türünde araçların sinyalleri ve geçiş üstünlüğü kuralının uygulanması



**Şekil 4.15** Farklı gösterim türünde araçların sinyalleri, trafik ışığı sonrası hareketleri

Simülasyon çalışırken seçilen araçların hangi rotaları takip edecekleri önceden gözlemlenebilmektedir Şekil 4.16. Bu özellik sayesinde araçların şerit değiştirme kararları canlı olarak takip edilmesi ve yoğunluk olan yollardan kaçınmak için şerit değişikliği kararlarını ne zaman verdikleri belirlenebilmektedir.



**Şekil 4.16** Farklı gösterim türünde araçların gideceği rotadaki en uygun şeritlerin gösterimi

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Artan ülke nüfusumuz, hızlı büyüyen şehirlerde iskân edilmektedir. Bu durumun sonucunda ulaştırma tüm dünyada olduğu gibi ülkemiz şehirlerinde de önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Uzun yıllardır devlet politikası ile desteklenen şehirden kente göç, günümüzde içinden çıkılması zor bir duruma gelmiştir. Şehirleri yönetenler yerelde bu süre gelen devlet politikalarının sonuçlarına katlanmakta ve ortaya çıkan sonuçlara göre çözümler üretmeye çalışmaktadır. Yapılan çalışmada birçok büyükşehir belediyesinin yüksek meblağlar ödeyerek yaptırdığı ana ulaşım planlarının daha ekonomik çözümler ile üretilebileceğini temel bir kavşak uygulamasıyla gözler önüne serilmiştir.

Yapılan çalışma kapsamında hem rakamsal hem de simülasyonun gözle takip edilmesiyle belirlenen kavşaktaki trafik çözümünün başarıya ulaştığı görülmüştür. Ancak burada şehirlerdeki ulaştırma sorununun tek bir kavşak üzerinden irdelenmesi gibi bir düşüncede bulunulamamaktadır. Popülist söylemlere yol açacak bu çıkarım bilimsel ilerleme yolunda bizlere faydadan çok zarar sağlayacaktır.

Çalışmamızda ortaya koyduğumuz düzenleme sonrası trafik rahatlaması gerçek hayatta tam manasıyla karşımıza çıkmamaktadır. Araç hareketliliğinin akıcı olacağı düşüncesiyle yapılan örnek kavşak düzenlemesinin soruna temel düzeyde yaklaşmadığı görülmektedir. Çünkü yapılan çalışmadan sonra kavşağın içerisinde Trafik Kanuna aykırı olarak bekleyen minibüslerin yarattığı trafik sıkışıklığı simülasyon ortamında giderilse bile gerçek hayatta giderilmemiştir. Bunun yanı sıra çalışma alanının 800 metre uzağında yer alan kavşak, düzenleme öncesi akıcı halde işlemekte iken yapılan düzenleme sonrası belirtilen kavşak trafik akışını durduracak noktaya kadar yavaşlamıştır. Ayrıca Davutpaşa

Metro Alt geçidinden Merter ve Otogar istikametine giden bağlantı noktasında ortaya çıkan tıkanıklık gerçek hayatta yol ağımızı etkilemiştir ancak bu etki çalışmamızın kapsamı nedeniyle ölçülemediği. Yapılan gözlemler ile incelenen bölgenin genişletilmesi yönünde çalışma yapılmış ancak genel sonuçlar elde edilebilmesi için D-100 karayolu ve 0-3 bağlantı yollarına kadar uzanan tüm kavşakların modellenmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Tüm bu nedenlerden dolayı trafik planlamalarının kavşak temelli olmasından çok tüm şehirdeki ulaşım aksları üzerine olması gerekliliği karşımıza çıkmaktadır.

Çeşitli ülkelerde yapılan kavşak düzenleme uygulamaları ile şehir içi trafiğe kısmi çözüm bulunduğunu not düşmek gerekir. Ancak bu şehirlerde temel olarak, araçlar için yeni yollar ve kavşak düzenlemeleri yapmak yerine şehir içi araç trafiğini azaltıp toplu taşıma sistemlerine yönlendirmek ve şehrin temel duraksanan yollarının şerit daraltması veya kapatılması yöntemleri ile lastik tekerlekli araçların uzaklaştırılmasına öncelik verilmesi gibi yöntemler uygulanmaktadır.

Yukarıda belirtilen şehir içi ulaştırma yöntemlerinin yanı sıra çalışmamızda temel olarak kullandığımız SUMO hakkında da çeşitli yorumlamalar getirmek bu çalışmanın temel sebebidir. SUMO tamamen ücretsiz olması ve açık kaynaklı yapısından dolayı tüm dünyada her yıl çok sayıda makalenin konusu olan bir trafik simülasyonudur. Buna rağmen ülkemizde SUMO trafik simülasyonu ile yayınlanmış bir çalışma bulunmamaktadır. Yerli ve milli teknolojilerin desteklediği bu günlerde açık kaynaklı simülasyon olan SUMO'nun ülkemiz ihtiyaçlarına göre düzenlenebilir olması bizlerin karşısına fırsat olarak çıkmaktadır.

SUMO üzerine yapılacak eleştiriler hususunda ise girdi dosya tiplerinin daha kullanıcı dostu olan farklı dosya türleri ile değiştirilmesi simülasyonu daha da ulaşılabilir hale getirecektir. Dedektör dosyalarının elle oluşturulması yerine otomatikleştirilebilmesi büyük ağlar için yarar sağlayacağı çıkarımı yapılmaktadır. Bununla birlikte özel olarak rota oluşturulmasına imkân vermesi, temel kavşak bazında araçların hangi yönlerde hareket ettiği bilgisine dayanılarak sonuçlar ürettiği için şehir kavşak noktalı çözümlere yardımcı olabilmektedir.

SUMO'nun en çok kullanılan eklentilerinden birisi olan DfRouter modülü çalışmamızda kullanılmıştır. Bu modüle sunulan girdi değerleri genelde bir tutarlılık oluştursa da

simülasyon gözle izlendiğinde temel bir sorunu ortaya koymaktadır. Bu da ağ içerisindeki araçların sadece dedektör noktasından geçerek doğru sayıya ulaşmasını sağlaması durumudur. Simülasyon içerisindeki araç sayılarının karşılaştırılması ile çıkarılamayacak bu sonuç tüm simülasyonların izlenmesi, fazla miktarda aracın takip edilmesi sonucunda ortaya konulabilmektedir. Burada gözlemlenen sorun araçların ağ içerisinde genel simülasyon kurallarına aykırı olmayan ancak çalışma alanında genel gözlem ve bilgilerle uyuşmayan duraklama, hareket başlangıç noktası, hareket bitiş noktalarının olması durumlarıdır. Bu durumların sebebi olarak DfRouter modülünü temel akış üretme prensibi olan musluk-gider yaklaşımı olduğu çıkarımı yapılabilir. Çünkü rotaların geneli incelendiğinde dedektör noktalarından türetilen musluk-gider noktalarının ağ üzerinde hassas dağılsa bile, çalışma alanındaki kavşakların giriş ve çıkışların fazlalığından dolayı akış oluşturulurken araçların simülasyonda yeteri kadar yol ağında kalmamaktadır. SUMO'nun diğer modüllerinde olduğu gibi bu modülü de kısa aralıklar ile güncellenmektedir. Önümüzdeki yıllarda gelecek güncellemeler ile DfRouter modülünün kısa ve yoğun ağlardaki sonuçlarının iyileştirileceği beklenmektedir.

Sonuç olarak güzergâh tasarlanması, sahada aplikasyon işlemlerinin yapısı gibi birçok alanda etkin görev alan Harita Mühendislerinin günümüzde değişen teknolojik koşullara uyum sağlayarak ulaşım planlarında daha da etkin yer alması gayemizdir. Bu gayeden dolayı çalışmamız Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Ana Bilim dalında hazırlanmıştır. Konumsal verinin bu kadar etkin kullanıldığı çalışmamızda gelecek günlerde yapılacak olan çalışmalar bir yol açılması temenni edilmiştir. Halihazırda yukarıda belirtildiği gibi bu sektörün temel bileşenlerinden olan Harita Mühendislerinin kendini daha fazla geliştirerek kendisine yeni meslek alanları açması çok uzak bir olasılık değildir.

Gelecekte şehir ulaştırmasını bütün olarak ele almak için çeşitli toplu taşıma araçları ile simülasyonlar yapılması trafik problemlerine çözümüne katkı sağlayacaktır. Ayrıca özel olarak üretilecek rotalarda sadece ağ üzerinden seçerek rota oluşturma yöntemleri için eklenti üretilmesi gelecekte yapılabilecek çalışmalardandır.

## KAYNAKLAR

---

- [1] United Nations, (2014). Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, New York.
- [2] Chant, C., (1999). The World's Railways: The History and Development of Rail Transport , Island Books, Anglesey.
- [3] Bykofsky, J., Larson, H., (2015). The Transportation Corps: Operations Overseas, CreateSpace Independent Publishing Platform, Güney Carolina.
- [4] İgüs, E., İsmailoğlu, H., (2012). "Osmanlı Kenti İstanbul'u Yıkma ve Yeniden Yapma Paradoksu: Menderes Yıkımları", Osmanlı İstanbulu IV. Sempozyumu 20-22 Mayıs 2012, İstanbul.
- [5] Pharaoh, T., Russell, J., (1991). "Traffic Calming Policy and Performance The Netherlands, Denmark and Germany" The Town Planning Review, 62:1:79-105
- [6] TDK Online Sözlüğü <http://sozluk.gov.tr/> Erişim 04.05.2019
- [7] Yılmaz, E., (2006). Karayolu Trafik Simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon
- [8] T.C. Resmi Gazete, Karayolları Trafik Yönetmeliği (23053 Mükerrer), 18.07.1997
- [9] TDK Online Sözlüğü <http://sozluk.gov.tr/> (Erişim 04.05.2019)
- [10] Uppoor, S., Fiore, M., (2011). "Large-Scale Urban Vehicular Mobility for Networking Research". IEEE Vehicular Networking Conference (VNC), 14-16 Kasım 2011, Amsterdam.
- [11] Bedogni, L., Gramaglia, M., Vesco, A., Fiore, M., Harri, J., Ferrero. F., (2015). "The Bologna Ringway Dataset: Improving Road Network Conversion in SUMO and Validating Urban Mobility Via Navigation Services", IEEE Transactions on Vehicular Technology, 64(12): 5464 - 5476.
- [12] Kastner, K., Pau P., (2015). "Experiences with SUMO in a Real-Life Traffic Monitoring System", SUMO User Conference 2015, 7-8 Mayıs 2015, Berlin.
- [13] Grzybek, A., Danoy, G., Bouvr, P., (2012). "Generation Of Realistic Traces for Vehicular Mobility Simulations", Proceedings of The Second ACM International Symposium on Design and Analysis of Intelligent Vehicular Networks and Applications. Ekim 21-25 2012, Baf.

- [14] Codecha, L., Frank, R., Faye, S., Engel, T., (2017). "Luxembourg SUMO Traffic (LuST) Scenario: Traffic Demand Evaluation", IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, 9:52-63
- [15] Codeca, L., Harri, J., (2018). "Monaco SUMO Traffic (MoST) Scenario: A 3D Mobility Scenario for Cooperative ITS", EPiC Series in Engineering, 2 :43-55
- [16] Wießner, E., Lücken, L., Hilbrich, R., Flötteröd, Y., Behrisch, M., Bieker-Walz, L., Erdmann J., (2018). "Simulating Autonomous and Intermodal Transport Systems", EPiC Series in Engineering, 2:55-69
- [17] Mitchell, G., (1993). The practice of Operations Research, John Wiley & Sons, Chichester, England
- [18] Barceló, J., (2010). Fundamentals of Traffic Simulation , Springer-Verlag, New York.
- [19] Merriam Webster Online Sözlüğü <https://www.merriam-webster.com/> Erişim 17.05.2019
- [20] Winston, P., (1976). Reprinted in The Psychology of Computer Vision , McGraw-Hill, New York.
- [21] Daellenbach, H., G., (1995). Systems and Decision Making: a Management Science Approach. John Wiley & Sons Ltd., Chichester
- [22] OECD (1987). Dynamic Traffic Management in Urban and Suburban Road Systems. Organization for Economic Co-operation and Development, Paris
- [23] Gerlough, D., Huber, M., (1975). Traffic flow theory: a monograph. TRB, Washington,
- [24] Gerlough, D., Huber, M., Traffic Flow Theory: a Monograph: Kühne, R., Michalopoulos, P., Zhang H., (1992). Continuum flow models, Chapter 5, TRB, Washington.
- [25] Pipes, L., A., (1953). "An Operational Analysis of Traffic Dynamics", Journal of Applied Physics, 24:271-281
- [26] Reuschel A., (1950). "Vehicle Movements in a Platoon", Zeitschrift des Osterreichischen Ingenieur und Architekten Vereines ,(95): 59–62, 73–77
- [27] Gerlough , D., Huber, M., (1975). Traffic flow theory: a monograph: Rothery W., Chapter 4, TRB Washington.
- [28] Smith, B., Demetsky, M., (1997). "Traffic Flow Forecasting: Comparison of Modeling Approaches", Journal of Transportation Engineering, (123):261-266
- [29] Ross P., (1988). "Traffic Dynamics". Transportation Research Part:B Methodological, 22(6):421–435
- [30] Rouphael N., Sacks J., (2003). "Thoughts on Traffic Models Calibration And Validation", Workshop on Traffic Modeling, Şubat 14-18 2003, Sitges.
- [31] Barceló J., Casas, J., (2004). "Methodological Notes on The Calibration And Validation Of Microscopic Traffic Simulation Models", Transportation Reaserch Board 83rd Annual Meeting, 11-15 Ocak 2004, Washington.

- [32] Behrisch, M., Bieker, L., Erdmann, J., Krajzewicz, D., (2011). "SUMO – Simulation of Urban MObility An Overview", The Third International Conference on Advances in System Simulation, Ekim 23-29 2011
- [33] Hidas, P., (2005). "A functional evaluation of the AIMSUN, PARAMICS and VISSIM Microsimulation Models", Road and Transport Research, 14(4):45-59
- [34] GNU Genel Kamu Lisansı (GPL) <https://linux.org.tr/gpl/> (Erişim 22.05.2019)
- [35] Krauß, S., (1998). Microscopic Modeling of Traffic Flow: Investigation of Collision Free Vehicle Dynamics, Doktora Tezi, Hauptabteilung Mobilität und Systemtechnik des DLR, Köln.
- [36] Janz, S., (1998). Mikroskopische Minimalmodelle des Straßenverkehrs, Doktora Tezi, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Freiburg.
- [37] Krauß, S., (1998), "Microscopic Modeling of Traffic Flow: Investigation of Collision Free Vehicle Dynamics". Hauptabteilung Mobilität und Systemtechnik des DLR Köln.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Can BOZ  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 12.07.1993, Keşan  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-posta** : canboz@outlook.com

### ÖĞRENİM DURUMU İŞ TECRÜBESİ

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Harita Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2015
Lise	Fen Bilimleri	Kepirtepe And. Öğretmen Lisesi	2011
Yıl	Firma/Kurum	Görevi	
2019 - ...	2205 Nolu LİHKAB	Kontrol Mühendisi	
2017-2018	4 Maps	CBS Analisti	

### YAYINLARI

#### Bildiri

1. Boz C., Gülgen F., "Assessing the Accuracy of OpenStreetMap Building Dataset in Istanbul, Turkey", INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GIS APPLICATIONS IN GEOGRAPHY & GEOSCIENCES, ÇANAKKALE, TÜRKİYE, 18-21 Ekim 2017, syf.156-156
2. Boz C., Gülgen F., " Sumo Trafik Simülasyonu Kullanılarak Trafik Düzenlemelerinin Etkilerinin Gözlenmesi", 7. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, ESKİŞEHİR, TÜRKİYE, 18-21 Eylül 2018, syf.85-86